



POLITÉCNICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRÓNOMOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

GRADO EN INGENIERÍA Y CIENCIA AGRONÓMICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

***DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIO LED EN UN
INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN EN LA GRAJERA,
LOGROÑO (LA RIOJA)***

TRABAJO FIN DE GRADO

Autor: Emilio Villar Alegría

Tutor: Pilar Barreiro Elorza

Noviembre 2016

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no puede estar terminado sin hacer justicia y mentar a todas las personas que me han ayudado en su elaboración, sin ellas probablemente aún estaría atascado en algún recodo del camino.

Lógicamente hay que comenzar agradeciendo por el principio, que ahora parece muy lejano. De Wageningen a Theoharis, Yongran y Amanda por guiarme y permitirme trabajar a su lado durante las infinitas mediciones del experimento. A Ep por mostrarme los objetivos y ayudarme a ver errores de los que nunca me habría dado cuenta. A mis amigos y compañeros de Droef por aguantarme y apoyarme tanto en los días relajados como en las noches de estrés sin fin.

En Madrid quiero subrayar el trabajo y la experiencia con Pilar, mi tutora. El equilibrio perfecto entre libertad y supervisión, aceptación y espíritu crítico, idealismo y realidad. GRACIAS con mayúscula por enseñarme el rumbo en un mar de versiones y poner tanto de tu parte dentro y fuera de un proyecto que ya se veía difícil desde el principio. A Ignacio Valero por introducir a un pagano como yo lo mejor posible en el mundo de la iluminación y dedicarme su tiempo desinteresadamente. Tanto a mis amigos de la universidad como fuera de ella por haber conseguido hacer una piña donde todos fuéramos una referencia para todos, compartiendo los bajos y los altos, haciendo lo posible para ayudarnos en lo que pudiéramos.

Por último, but not least, de Logroño a personazas como Miguel Abad y Ana, por esforzarse en que entendiera todo lo que se situaba fuera de mi educación. A toda mi familia por repetirme una y otra vez que el mundo no se acababa y ser el balón de oxígeno que hiciera falta en cada momento. Gracias otra vez.

RESUMEN

El objeto del proyecto es el diseño de un sistema de control espectral en un invernadero ya construido perteneciente al Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino (ICVV) y situado en la Finca La Grajera, Logroño (La Rioja). La motivación de este proyecto son la inexistencia hasta el momento de un invernadero en una institución investigadora con un control lumínico básico en la región y la implicación de la universidad local y del gobierno regional para desarrollar la investigación agrícola pública en lo relacionado al estudio de la influencia de determinadas bandas del espectro electromagnético en el desarrollo de especies vegetales. El proyecto empieza con un estudio sobre los tipos de agricultura protegida y las distintas técnicas y métodos de iluminación usados en invernaderos. Una vez se determina la idoneidad de un sistema de iluminación LED se procede a dimensionar las distintas partes de la instalación (lumínica, eléctrica y control), intentando no interferir en el uso actual del invernadero y añadir nuevas posibilidades como explotación. Se incluye un estudio básico de seguridad y salud, un reportaje fotográfico de las instalaciones, planos, presupuestos totales y parciales y un estudio económico con el que se evalúan posibles fuentes de financiación, los consecuentes flujos de caja y un análisis de rentabilidad.

ABSTRACT

The aim of this project is the design of a lighting system with spectral control in a research greenhouse of the Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino (ICVV-Wine and Grapevine Sciences Institute) which is located in La Grajera, Logroño (La Rioja). The motivation for this project is the absence in the region until nowadays of a greenhouse with spectral control in a research institution and the will of the local university and the government of developing public agricultural research in the field of the influences of specific ranges of the light spectrum in plant behavior. The project starts with a study on protected agriculture and the different techniques and methods of lighting used in greenhouses. After a LED lighting system is selected as the optimal solution, it is included the size and fitting of the illumination, electric and control systems in the facility. All the process is focused not only in avoiding a decrease in the services provided by the greenhouse but also trying to include new features that allow new services. The project includes as well a health and safety study, a graphic report of the current facilities, maps, partial and total budgets and an economic study in which possible funding sources, the corresponding cash flows and a cost-effectiveness analysis are evaluated.

INDICE

Documento nº 1.- Memoria y Anejos

- Memoria
- Anejos
 - Anejo nº 1.- Análisis de la Situación de Partida
 - Anejo nº 2.- Sistema de Iluminación y Captación Solar
 - Anejo nº 3.- Ingeniería de Proceso
 - Anejo nº 4.- Experimento de Control Espectral
 - Anejo nº 5.- Ingeniería de Diseño
 - Anejo nº 6.- Cálculos de la Iluminación
 - Anejo nº 7.- Cálculos Eléctricos
 - Anejo nº 8.- Seguridad y Salud
 - Anejo nº 9.- Reportaje Fotográfico
 - Anejo nº 10.- Estudio Financiero

Documento nº 2.- Planos

- 01.- Situación y emplazamiento.
- 02.- Invernadero. Planta. Instalaciones existentes.
- 03.- Invernadero. Sección. Instalaciones existentes.
- 04.- Invernadero. Planta. Instalaciones nuevas.
- 05.- Esquema eléctrico. Esquema unifilar 1.
- 06.- Esquema eléctrico. Esquema unifilar 2.

Documento nº 3.- Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares

- Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares
- Especificaciones Técnicas

Documento nº 4.- Presupuesto

- Mediciones
- Cuadro de Precios
- Presupuestos Parciales
- Presupuestos Generales

DOCUMENTO N° 1

MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

ÍNDICE

1.	OBJETO DEL PROYECTO	2
1.1.	Naturaleza del proyecto.....	2
1.2.	Dimensión del proyecto.....	2
1.3.	Localización	2
2.	MOTIVACIÓN Y DIRECTRICES DEL PROYECTO	2
2.1.	Motivación del proyecto.....	2
2.2.	Finalidad del proyecto	3
2.3.	Condicionantes del promotor	3
2.4.	Criterios de valor del promotor	3
3.	ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE PARTIDA	4
3.1.	Antecedentes	4
3.2.	Situación actual	5
3.3.	Situación futura sin proyecto.....	6
3.4.	Análisis d.a.f.o.....	7
4.	OBJETIVOS Y METAS. ALTERNATIVAS.....	7
4.1.	Objetivos	7
4.2.	Tecnología disponible	8
4.2.1.	iluminación suplementaria	8
4.2.2.	Mallas	9
4.2.3.	Cubiertas.....	10
4.2.4.	Casos con filtración o captación natural	10
4.3.	Alternativas	11
5.	EXPERIMENTO EN INSTALACIONES CON CONTROL ESPECTRAL.....	12
5.1.	Prefacio	12
5.2.	Introducción	13
5.3.	Base experimental	13
5.4.	Material y métodos utilizados	14
5.4.1.	Crecimiento del material vegetal	14
5.4.2.	Ambiente LED y medidas no destructivas.....	15
5.4.3.	Cosecha y mediciones destructivas.....	16
5.4.4.	Post-análisis.....	16
5.5.	Exposición y discusión de los resultados	17
6.	PROCESO PRODUCTIVO	18
6.1.	Introducción	18
6.2.	Agricultura protegida	18
6.3.	Diseño cubierta y estructura	20
6.4.	Soporte hidropónico	21
6.5.	Riego	22
6.6.	Control ambiental.....	23
6.7.	Iluminación	23
6.7.1.	Lámparas HPS.....	23
6.7.2.	Iluminación auxiliar	23
6.7.3.	Malla de sombreo	24
6.8.	Sistemas de control.....	24
7.	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	26
7.1.	Iluminación LED.....	26
7.2.	Instalación eléctrica.....	27

7.3. Sistema de control	27
8. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.....	27
9. GESTIÓN DE RESIDUOS.....	27
10. ESTUDIO ECONÓMICO	28
10.1. Introducción	28
10.2. Flujos de caja.....	28
10.2.1. Pago de la inversión y otros costes	29
10.2.2. Cobros.....	29
10.3. Análisis de rentabilidad.....	29
11. PRESUPUESTO.....	30
12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis DAFO. Elaboración propia.....	7
Tabla 2. Comparación de diversas lámparas de invernadero.....	9
Tabla 3. Alternativas estratégicas según su capacidad de iluminación y control espectral	12
Tabla 4. Relación de efectos de distintas bandas del espectro electromagnético.	15
Tabla 5. Características de la producción en invernaderos.....	19
Tabla 6. Comparativa de diseños de estructura de invernadero de cristal	20
Tabla 7. Comparativa de sustratos hidropónicos.....	22
Tabla 8. Flujos de caja a lo largo de la vida útil.....	28

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Perspectiva del invernadero existente.....	4
Imagen 2. Estado del antiguo invernadero y la sala de trabajo para estudios para fotomorfogénesis y fotoperiodo.	5
Imagen 3. Estado actual del interior de una de las cabinas del invernadero.....	6
Imagen 4. Gráfica con la comparación de la biomasa seca entre los dos ambientes lumínicos..	17
Imagen 5. Gráfica con la comparación del área foliar entre los dos ambientes lumínicos.....	18
Imagen 6. Esquema del sistema de control.....	25

1. OBJETO DEL PROYECTO

1.1. NATURALEZA DEL PROYECTO

El objeto del proyecto es el diseño de un sistema de control espectral en un invernadero ya construido perteneciente al Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino (ICVV) situado en la Finca La Grajera, Logroño, La Rioja. La motivación de este proyecto son: la inexistencia por el momento de un invernadero en una institución investigadora con un control lumínico básico en la región, y la voluntad de la universidad local y del gobierno regional para desarrollar la investigación agrícola pública en lo relativo al estudio de la influencia de determinadas bandas del espectro electromagnético en el desarrollo de especies vegetales.

1.2. DIMENSIÓN DEL PROYECTO

El proyecto plantea la instalación de circuitos de lámparas LED (Diodos Emisores de Luz por sus siglas en inglés) en las cuatro cabinas del invernadero en el Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino. Se trata por tanto de acondicionar un espacio de cada cabina 5.5 m de ancho por 10 m de largo, multiplicado por las cuatro cabinas existentes.

1.3. LOCALIZACIÓN

Las actuaciones que se describen en este Proyecto se localizan en el término municipal de Logroño, a 3 Km al oeste del núcleo urbano. El invernadero se sitúa en la Finca La Grajera, Autovía del Camino de Santiago LO-20 Salida 13, 26007 Logroño, La Rioja. Dicha finca pertenece a la Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de La Rioja y sus instalaciones científicas pertenecen al Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino, un centro adscrito al Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, al Gobierno de La Rioja y a la Universidad de La Rioja.

Las coordenadas del invernadero son:

Latitud 42° 26' 38.995'' N

Longitud 2° 30' 50.842'' O

2. MOTIVACIÓN Y DIRECTRICES DEL PROYECTO

2.1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto ha sido promovido por el Instituto de la Vid y el Vino (ICVV), un centro investigador supervisado y patrocinado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la Universidad de La Rioja y el gobierno de la comunidad autónoma a través de la Consejería de Agricultura. Las instalaciones destinadas a la investigación agrícola en La Rioja han acusado la falta de financiación durante varios

años, lo que ha llevado al abandono o la obsolescencia de algunas de ellas. Sin embargo, la mejora aparente de la situación económica de la región ha permitido la construcción de un moderno invernadero en el ICSVV. El uso de dicho invernadero es compartido ocasionalmente con la Universidad de La Rioja, el CIDA (Centro de Investigación en Desarrollo Tecnológico Agroalimentario) y otras instituciones científicas relacionadas. La motivación principal es la voluntad del conjunto de instituciones investigadoras de la región de conseguir unos medios que posibiliten llevar a cabo investigaciones relacionadas con la respuesta vegetal a diversas bandas del espectro electromagnético. La solución más fácil para el conjunto de promotores es la actualización del nuevo invernadero para dotarlo de la tecnología necesaria para estas investigaciones.

2.2. FINALIDAD DEL PROYECTO

La finalidad es el diseño y puesta en marcha de un sistema de iluminación con un control espectral básico en el invernadero de investigación, de forma que se posibilite la investigación de los efectos en el desarrollo de las plantas de ciertas bandas del espectro luminoso.

2.3. CONDICIONANTES DEL PROMOTOR

- La manipulación fiable de las radiaciones electromagnéticas que incidan en el cultivo.
- Ajustarse a las condiciones ya existentes en el invernadero.
- Que exista una demostración experimental de las bases científicas del proyecto.
- Implantación de dicho sistema sin que entorpezca el resto de los servicios que ofrece el invernadero al centro actualmente.
- Reducir el coste de instalación y mantenimiento del sistema mediante la optimización de los recursos materiales y personal necesarios.
- Fomentar una percepción de apuesta por la innovación puntera en el centro investigador para atraer inversiones y clientes.
- Capacidad de adaptación tanto para investigación como para docencia en las colaboraciones con la universidad.
- Un tiempo de ejecución y puesta en marcha menor a los seis (6) meses.

2.4. CRITERIOS DE VALOR DEL PROMOTOR

Estando este invernadero dedicado casi exclusivamente a la investigación sobre control espectral se deben primar tres aspectos fundamentales en el diseño:

- Versatilidad: los invernaderos típicamente comerciales se especializan en una producción homogénea de un único cultivo pero las investigaciones que financien y finalmente amorticen los métodos de control del espectro luminoso

pueden ser infinitamente variadas respecto a la planta cultivada, tratamiento luminoso, superficie utilizada, duración, fotoperiodo, etc. Se debe por tanto posibilitar la convivencia de todas las líneas de investigación en el espacio y en el tiempo sin que se afecten las unas a las otras.

- Seguridad: por razones parecidas a las que justifican la versatilidad del invernadero se debe garantizar la seguridad de las distintas líneas de investigación que estén trabajando en el invernadero. Existen múltiples amenazas que pueden arruinar meses de trabajo de investigación debido a contaminaciones, plagas y enfermedades, fallos de control, etc. Además, hay que incluir la integridad personal y el confort de los trabajadores del invernadero durante su jornada laboral.
- Capacidad educativa: siendo un invernadero perteneciente a un centro de investigación relacionado estrechamente con la universidad local, se debe favorecer el desarrollo normal de las actividades lectivas, más allá de la investigación, que se desarrollen en el invernadero.



Imagen 1. Perspectiva del invernadero existente.

3. ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE PARTIDA

3.1. ANTECEDENTES

Anteriormente, las instituciones científicas que actualmente promocionan el Proyecto desarrollaban investigaciones similares a las que se buscan ahora en un invernadero y salas climáticas en el Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agroalimentario de La Rioja (CIDA) Ctra. NA-134 Logroño-Mendavia km 90. La

Rioja. Sin embargo, la situación financiera y el desinterés de las autoridades posponían continuamente la actualización de las instalaciones, que finalmente se consideraron obsoletas y han acabado en desuso o como almacenes.



Imagen 2. Estado del antiguo invernadero y la sala de trabajo para estudios para fotomorfogénesis y fotoperiodo.

3.2. SITUACIÓN ACTUAL

Tras la deshabilitación de las instalaciones usadas anteriormente, ningún centro investigador público riojano disponía de un invernadero para desarrollar experimentos hasta la construcción del edificio actual en 2015. Por ello, a pesar de que el invernadero se localiza en el recinto del Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino, el uso del invernadero es compartido por varias instituciones científicas como el CIDA o la misma Universidad de La Rioja, con intereses más amplios que la enología y la viticultura. Estos centros ofrecen varios servicios a empresas u otras instituciones interesadas en realizar investigaciones en las instalaciones del invernadero. Algunos ejemplos de estos servicios son el cuidado de cultivos desde siembra a cosecha, aplicación de tratamientos, almacenamiento de productos, monitorización del cultivo, toma y procesamiento de muestras, consejos sobre técnicas experimentales en cultivo y el trabajo con patógenos.

El invernadero tiene una sección transversal a dos aguas denominada de gran envergadura, con unas dimensiones en total de 26 metros de largo por 12 de ancho y 4.6 m hasta la cumbrera. Las paredes laterales tienen una altura de 3 metros, contando con

un zócalo de hormigón de 0.63 m de altura. El interior se encuentra dividido en un pasillo de 2 m de anchura, una sala de control de 10 m de largo por 4 de ancho, y cuatro cabinas de iguales dimensiones de 5.5 m de ancho por 10 m de largo donde se realizan los experimentos. La superficie del invernadero está recubierta por planchas de cristal transparente en sus laterales y por vidrio translucido en la parte superior para mejorar la distribución de luz solar.

En todos los compartimentos se pueden asegurar condiciones ambientales específicas de luz, humedad relativa, temperatura y fotoperiodo pero no existe ninguna forma de control espectral. El invernadero ya cuenta con un básico sistema de iluminación suplementaria con luces de sodio de alta presión (Son-T Agro de 400W, 100- 150 W/m², Phillips, Rotterdam, Países Bajos) y luminarias marca LeuchTeck (Oststeinbek, Alemania) con grado de protección IP de 65 (24 lámparas por cabina). Además, se cuenta con una pantalla híbrida con funciones de sombreamiento y ahorro de energía (Svensson TEMPA 6965FR). Las cabinas y la sala de control cuentan con varios sistemas de ventilación con el exterior accionados por motores, uno cenital individual, otro a través del pasillo y por ultimo uno mecánico con filtros a través de la pared situada al fondo de las cabinas.



Imagen 3. Estado actual del interior de una de las cabinas del invernadero.

3.3. SITUACIÓN FUTURA SIN PROYECTO

Una no implantación a corto-medio plazo del proyecto conllevaría el peligro para el promotor de que otras instituciones logran implantar antes un sistema de iluminación como el planeado en este Proyecto. En consecuencia, se perdería el liderazgo en el campo y la bolsa de clientes e inversores interesados. Existe el riesgo además, de que se fuese imprescindible alquilar las instalaciones de otras instituciones

que invirtieran en control espectral para llevar a cabo experimentos propios, con el coste implícito en ello.

3.4. ANÁLISIS D.A.F.O.

Con el objetivo de formar una imagen global del escenario actual se exponen las características internas (fortalezas y debilidades) y externas (oportunidades y amenazas) (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis DAFO. Elaboración propia

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la capacidad de control ambiental. • Mayor control de la morfología vegetal. • Nuevas posibilidades de investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión en el I+D+i. • Ampliación de la oferta educativa de la universidad. • Aumento del prestigio de las instituciones involucradas. • Inexistencia de competencia ya asentada en el mercado.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Poca experiencia en el campo. • Incremento del gasto en mantenimiento. • Necesidad de una inversión pública inicial significativa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Futuras ofertas de servicios similares por otras instituciones.

4. OBJETIVOS Y METAS. ALTERNATIVAS

4.1. OBJETIVOS

El objetivo primero del proyecto es la creación e implantación de un sistema de iluminación que permita control espectral en un invernadero de investigación en una institución científica pública como es el situado en el Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino (ICVV). El interés del promotor es que el uso de éste sistema de control espectral posibilite la emisión en bandas concretas del espectro electromagnético. Al implementar dicho sistema en un invernadero de investigación se permite determinar cuáles son los efectos de dichos rangos cuando se presentan solos o combinados de manera específica en los cultivos. Con este conocimiento sería posible más tarde promover o eliminar ciertos comportamientos morfológicos en invernaderos comerciales de forma que se produzca un aumento de competitividad para las empresas.

Los objetivos subyacentes del centro investigador (el ICVV) y de sus instituciones asociadas (CSIC, UR, CIDA) se cumplen al adquirir este sistema de iluminación ya que permite generar nuevo conocimiento sobre procesos biológicos y físico químicos, desarrollar nuevas prácticas agrícolas, potenciar la competitividad del sector y la transferencia de tecnología a las empresas que patrocinen experimentos y apoya la formación universitaria y la creación de investigadores mediante la oferta de nuevos estudios disponibles.

4.2. TECNOLOGÍA DISPONIBLE

La tecnología existente en el ámbito de los sistemas de iluminación y captación solar en invernaderos se puede dividir en iluminación suplementaria, mallas, filtros en la cubierta y sistemas naturales. En el Anejo 2, en el punto 4 se pueden encontrar una descripción detallada de la tecnología disponible en el mercado para poder ser instalada en el invernadero del Proyecto.

4.2.1. ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIA

Supone el empleo de lámparas para incrementar el flujo recibido por el cultivo con el objetivo de optimizar la producción. Los aspectos más importantes a considerar a la hora de elegir que lámparas y complementos utilizar son: su uso como suplementación o sustitución de la luz solar; los ciclos de apagado y encendido de las luces; el coste de compra, instalación, funcionamiento y mantenimiento; las características del fotoperiodo del cultivo; los requisitos ambientales de las plantas; la cantidad y tiempo de irradiación y la composición espectral de la luz emitida.

Las clases de lámparas más utilizadas son las incandescentes, los tubos fluorescentes (FT), las de sodio de alta presión (HPS), las de halogenuros metálicos (HID) y las LED. Los tubos fluorescentes y las HPS son actualmente los principales sistemas de iluminación suplementaria en los invernaderos para producción comercial, principalmente debido al elevado precio y al relativamente complejo conocimiento técnico necesario para la producción e instalación de paneles de luces LED. Este problema es especialmente importante en el caso de las longitudes de onda más energéticas y cortas, las luces ultravioleta y azules. Por otra parte, en los últimos años se han hecho grandes mejoras técnicas, facilitando cada año la producción de instalaciones LEDs más grandes a un precio menor y con mejor rendimiento. Como resultado de este proceso, se ha previsto que los LEDs dejarán de limitarse a la investigación para convertirse en el sistema de iluminación principal de la horticultura. Las ventajas de los LEDs sobre el resto de lámparas es que producen muy poco calor radiante, permitiendo la instalación de las lámparas mucho más cerca de la planta sin quemarla, un tiempo de encendido más corto, una vida útil y una eficiencia energética muchísimo mayores, menos peligro gracias a la ausencia de cristal y gases tóxicos o contaminantes, un riesgo de incendios o quemaduras más pequeño o una cantidad de radiación proporcional a la potencia consumida. Estas características hacen posible ajustar la luz

emitida de acuerdo con la sensibilidad de los fotorreceptores, adecuando la energía consumida al momento, lugar y cantidad necesarias; y de esta manera ahorrar dinero.

Tabla 2. Comparación de diversas lámparas de invernadero.

Lámpara	Incandescentes	Fluorescentes	HPS	HID	LED
Vida útil (h)	1000	7500	25000	15000	25000-50000
Calor radiante					
Coste compra					
Espectro de emisión					
Sombra					
Consumo eléctrico					
Uso principal	Fotoperiodo	Fotoperiodo Fotosíntesis	Fotoperiodo Fotosíntesis	Fotosíntesis	Fotoperiodo Fotosíntesis

La tabla superior compara distintas características de las lámparas según su idoneidad para el uso en invernaderos. El color verde indica una buena correlación, el azul un valor medio y el marrón una desventaja en esa cualidad. Por ejemplo, las lámparas incandescentes presentan demasiado calor radiante y consumo eléctrico, un espectro y un sombreamiento promedio mientras que el coste de compra es muy barato.

4.2.2. MALLAS

Estos dispositivos son pantallas móviles situadas entre la masa vegetal y la cubierta del invernadero. Su objetivo es interferir en el paso de la radiación entrante o saliente del invernadero mediante la absorción o el reflejo (parcial o total) de la misma. Se consideran dispositivos pasivos porque solo necesitan electricidad para desplegarse o recogerse. Hay tres tipos de mallas según su propósito, que físicamente se diferencian en la composición y la estructura del tejido utilizado. Pueden combinarse instalando varias pantallas a diversas alturas o hacerse híbridas juntando varios tipos de tejido para que la misma malla sirva para diversas funciones.

Los tres tipos de malla según su propósito son:

- De oscurecimiento. Gracias a tejidos opacos o totalmente aluminadas se busca que nada o casi nada de la radiación solar llegue al cultivo.

- De sombreado. Buscan una limitación de la radiación solar incidente para evitar situaciones de estrés hídrico o por temperatura. Pueden ser de varios colores y formas para influenciar en ciertas características de la luz que llega a la planta, como la composición espectral o la difusividad.
- De ahorro de energía. Hechas con tejidos a base de aluminio o que sean capaces de redirigir la radiación saliente del invernadero hacia el cultivo. Se extienden por la noche para evitar la contaminación lumínica.

4.2.3. CUBIERTAS

Existen varios tipos de filtros que se pueden colocar sobre la cubierta o dentro de la misma para absorber las longitudes de onda indeseadas y transmitir las más aprovechables. De esta forma se logra tanto evitar posibles efectos perjudiciales de esos rangos del espectro como mejorar la calidad de la radiación aumentando la concentración de longitudes de onda beneficiosas.

- Películas luminiscentes. Son películas plásticas con partículas fluorescentes fotoselectivas que absorben las longitudes de onda poco útiles (ultravioleta y verde) y transmiten las longitudes de onda más aprovechables (roja y azul principalmente). Su desventaja principal es su uso casi limitado a invernaderos de plástico.
- Cristales dicróicos. Se fabrican en cámaras de vacío donde se inyectan óxidos metálicos vaporizados y que al entrar en contacto con placas de vidrio empiezan a precipitarse sobre su superficie, formando unas láminas que funcionan como espejos. Los huecos entre las deposiciones metálicas constituyen unos poros cuyo tamaño marca la longitud de onda que será capaz de cruzar el vidrio, mientras que la que no traspasa el filtro es reflejada por las láminas espejo. Las mayores desventajas son su alto precio inicial, la fragilidad del filtro y la dependencia del ángulo de la luz incidente para cruzar los poros.
- Filtros líquidos. Su funcionamiento se basa en la capacidad de distintas soluciones acuosas que se mantienen sobre la cubierta del invernadero de absorber longitudes de onda específicas y dejar cruzar otras (González s.f.). Algunos ejemplos de soluciones estudiadas son sulfato de cobre, cloruro de cobre o sulfato de níquel en distintas disoluciones (del 0.1% al 1%) con agua destilada.

4.2.4. CASOS CON FILTRACIÓN O CAPTACIÓN NATURAL

No son una tecnología propiamente dicha, aunque conviene tenerlos en cuenta por su influencia en el diseño de sistemas de control espectral. El espectro de la radiación solar sufre muchas transformaciones desde su origen a la superficie de la planta. Algunos de estos cambios son la filtración de los rangos más energéticos (principalmente UV), que son re-emitidos en rangos menos energéticos (infrarrojo y

visible); la filtración del rojo a través del follaje (rebajando el índice rojo/rojo lejano) o las diferencias causadas por el ángulo de incidencia del sol (más rojo y azul al amanecer y más rojo lejano al atardecer). Cabe mencionar la existencia de terrenos con un albedo alto y que reflejan a la atmósfera parte de la radiación que incide en ellos, aumentando la luz difusa en esos lugares.

4.3. ALTERNATIVAS

Las alternativas consideradas deben tener en cuenta los condicionantes del promotor así como la legislación vigente en los ámbitos de actuación de este proyecto. Sobre estas necesidades se consideran varias opciones de entre las tecnologías explicadas anteriormente según la capacidad de control espectral que se desea y su capacidad de combinarse con los dispositivos relacionados que ya se encuentran instalados.

Prestando atención en los requisitos enunciados anteriormente y al resumen de la tecnología existente se puede deducir que solo existe un único tipo de instalación que asegure el objetivo del proyecto. La iluminación suplementaria que no sea dispositivos LED tiene espectros de emisión fijos y por tanto imposibles de manipular, además de que ya se dispone de un sistema por lámparas HPS. Los OLED podrían ser una opción en el futuro pero en la actualidad, además de un precio desorbitado, no se cuentan con garantías suficientes. Los métodos pasivos (mallas y filtros) serían directamente inadaptables en algunos casos o muy complejos y costosos de instalar y en general serían dependientes de la radiación solar.

Por tanto, se concluye que solo hay dos verdaderas alternativas:

- Alternativa cero o no actuación. De esta forma no se intervendría en el invernadero al ser imposible encontrar una manera de implementar un sistema de control espectral que se adecue a sus características.
- Sistema de iluminación LED en el interior del invernadero. Para aumentar la versatilidad se decide instalar las luces en dos disposiciones de matrices, una horizontal por encima de las plantas y otra entre las plantas.

Considerando la implantación de un sistema de iluminación LED, el proyectista se decanta por mantener las lámparas HPS e instalar una doble disposición (una superior y otra entre las plantas) de módulos que si bien originalmente son para producción comercial LED han sido adaptados por la casa comercial para tener distintos porcentajes de luz roja y azul. Hay que señalar que si bien se puede reducir la mayor parte de la radiación solar incidente, sería muy difícil eliminarla completamente en las instalaciones actuales del invernadero. Esto implica que no se podría crear ambientes totalmente controlados donde se puedan estudiar los efectos de las longitudes de onda secundarias (verde, amarillo, naranja). Por tanto, es más interesante para el promotor centrarse en estudiar cómo distintas proporciones de las principales bandas del espectro

fotosintéticamente activas (roja y azul) influyen en el comportamiento vegetal. Estas investigaciones serían muy útiles de cara a diseñar combinaciones de sistemas de iluminación mixtos HPS y LED (interiores y/o superiores), y de esta forma, obtener instalaciones que aprovechen las fortalezas de cada tipo de lámpara.

Tras contactar con varias compañías productoras de módulos LED (Hortilux, Sylvania, Philips, Panasonic, etc) el proyectista se decide por los modelos GreenPower LED toplighting y interlighting modificados para proporcionar luz con un mayor porcentaje de azul.

Tabla 3. Alternativas estratégicas según su capacidad de iluminación y control espectral

		Iluminación	
		CON	SIN
Control espectral	CON	<ul style="list-style-type: none"> Iluminación LED OLEDs 	<ul style="list-style-type: none"> Mallas coloreadas Cristales dicróicos Filtros líquidos Películas luminiscentes
	SIN	<ul style="list-style-type: none"> HPS FT Lámparas incandescentes 	<ul style="list-style-type: none"> Alternativa cero.

5. EXPERIMENTO EN INSTALACIONES CON CONTROL ESPECTRAL

5.1. PREFACIO

Este apartado es la prueba experimental solicitada por el promotor al proyectista sobre su experiencia profesional en el campo. Este experimento se realizó en la Wageningen University (Países Bajos) dentro del marco del proyecto “LED it be 50%”, en el cual el proyectista colaboró mientras cursaba una estancia de movilidad Erasmus entre los años 2014/2015. Dicho proyecto estudiaba si era posible mejorar mediante selección mejorar la eficiencia en el uso de la luz de los cultivos. Para lograr esto había que determinar qué QTLs (loci de caracteres cuantitativos) y marcadores de ADN condicionan la eficiencia en el uso de luz. Para ello hacía falta fenotipar distintos

genotipos para encontrar los que se desarrollaran mejor en distintos ambientes lumínicos.

5.2. INTRODUCCIÓN

La luz, descrita como el conjunto de distintas bandas del espectro electromagnético es esencial para el crecimiento vegetal, no solo como fuente de energía sino de información de los alrededores. Esta captación “visual” es posible gracias a varias moléculas llamadas fotorreceptores, tales como los fitocromos por ejemplo, que permiten a las plantas percibir variaciones en la dirección, intensidad, composición y duración de la luz. El sol ha sido siempre la fuente principal de luz en la agricultura, pero la necesidad de mantener a salvo del hambre a poblaciones en crecimiento en ambientes urbanos lejos de los lugares de producción tradicionales ha ocasionado la aparición de la agricultura protegida y de la agricultura urbana. En estas clases de agricultura es necesario el uso de luz suplementaria cuando este factor se convierte en limitante debido a la estación del año, la latitud, la hora del día o su situación dentro de una construcción humana. Para proporcionar esta iluminación se ha recurrido en los últimos años a lámparas fluorescentes y de sodio de alta presión tanto en instalaciones comerciales como en investigación. Sin embargo, hay diferencias importantes en la forma en que distintas plantas o variedades dentro de la misma especie reaccionan según la composición del espectro de la luz incidente en ellas. En este sentido es difícil continuar con los estudios sobre las diferentes respuestas cuando las lámparas fluorescentes y las de sodio de alta presión ofrecen un espectro fijo, y por tanto no controlable. Para mejorar la selección de variedades de cultivos según su fotomorfogénesis y parámetros fotosintéticos hace falta experimentar mediante la manipulación del espectro luminoso, y esa es una de las mayores ventajas que la iluminación LED ofrece. Esto se debe a que estos dispositivos formados por un chip de un material semiconductor con impurezas que posee un espectro de emisión muy estrecho. Los diodos emisores de luz permiten, solos o al combinarlos, emitir bandas del espectro electromagnético en especial, y de esta manera estudiar respuestas concretas a estas bandas. La estructura básica de un LED es una unión p-n (anodo-catodo) por la que cruza una corriente unidireccional de electrones. Al saltar esta sinapsis, los electrones caen a un nivel energético inferior y emiten la diferencia en forma de luz, ya que el color (la longitud de onda) está condicionada por la diferencia de energía (Yeh 2009). De esta manera, controlando la composición del material del diodo, los LEDs permiten el control espectral de la radiación emitida (Van Ieperen 2012).

5.3. BASE EXPERIMENTAL

El experimento, llevado a cabo por el ingeniero autor del proyecto, ha consistido en la determinación de las características físicas desarrolladas por varios genotipos de plantas de tomate que han crecido en dos ambientes luminosos distintos (100% rojo y 88% rojo /12% azul). El objetivo de esto es comparar los efectos que las diferentes

composiciones de luz tienen en el comportamiento vegetal. Tal y como la bibliografía señala (Hogewoning 2010 B), a pesar de que la luz roja es la más eficiente para la fotosíntesis, una composición monocromática roja causa que la plantas tengan una menor área foliar, menos biomasa, menor elongación del tallo y raíces, menos conductividad en los estomas, así como un contenido reducido en pigmentos fotosintéticos. En resumen, la falta de luz azul causa anomalías en el metabolismo vegetal y como consecuencia se desarrollan plantas más pequeñas e ineficientes. El mismo Hogewoning sugiere en otro artículo que la variación genética es la causa de diferencias entre variedades de la misma especie en los índices de actividad fotosintética en un ambiente monocromático rojo. Si se pudiera seleccionar variedades vegetales por su resistencia a la ausencia de luz azul (más complicada y cara de proporcionar), se podría desarrollar un cultivo que diera resultados iguales en ambientes distintos.

En este experimento se fenotipan 40 genotipos distintos de tomate y especies cercanas en 8 ambientes distintos (100% rojo, 88R/12 azul, 100%azul, blanco + rojo lejano, blanco + ultravioleta, blanco + ultravioleta + rojo lejano, blanco + ultravioleta y cuatro veces más rojo lejano (ambiente control), ambiente control más extra rojo y azul). Sin embargo, solo se expondrán los resultados de 9 genotipos distintos crecidos en ambientes 100% rojo y 88R/azul. Esto se debe a que gran parte de los genotipos y del sistema de iluminación pertenecen a empresas privadas que están desarrollando sus productos y testándolos en las instalaciones de la universidad.

5.4. MATERIAL Y MÉTODOS UTILIZADOS

La fase experimental incluida en este documento consiste en una repetición por cada ambiente estudiado de un protocolo de cuatro semanas de duración y que se divide en 4 pequeñas fases:

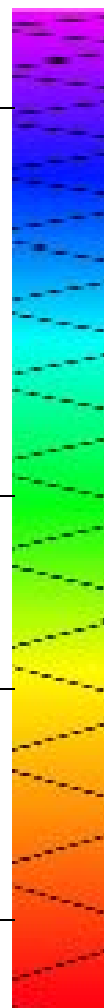
5.4.1. CRECIMIENTO DEL MATERIAL VEGETAL

12 semillas de cada uno de los 40 genotipos se plantaron en un semillero con tierra para macetas (Horticoop Substraat, Katwijk, Países Bajos) dentro de la cámara climática de la universidad en el edificio Radix, Wageningen University, Países Bajos. Esta cámara climática tenía unas condiciones de temperatura y humedad relativa constantes a 25°C y 70% respectivamente que se comprobaban automáticamente con un termómetro y un sensor capacitivo. La luz en el semillero la proporcionaban unas lámparas LED blancas (Philips, Eindhoven, Países Bajos), con un fotoperiodo de 18 horas al día. La concentración de CO₂ era la ambiente. Después de una semana en el semillero, 8 plantas germinadas de cada genotipo fueron trasplantadas a arena de río en macetas de 10.5 cm de diámetro y colocadas sobre una mesa de trabajo (150*350cm) a un 1.5m por debajo de las luces LED. Las macetas se organizaron en 8 distintos bloques concéntricos clasificados según la densidad de flujo de fotones fotosintéticos, PPFD por sus siglas en inglés ($150 \pm 20 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ de media). El bloque 1 era el más interior y por tanto la que mayor intensidad recibía, mientras que el 8 se situaba en los extremos de la

mesa de trabajo. Para evitar diferencias en el crecimiento de las plantas debido a la competencia por la luz, un bloque exterior (de la variedad Moneymaker) plantado y trasplantado bajo las mismas condiciones se colocó rodeando al bloque 8. Durante todo el transcurso del experimento se proporcionó a las plantas una solución nutritiva preparada en la misma universidad (pH=5.5 y EC=2.0, ver Anejo 4 para consultar la composición). La solución se bombeaba automáticamente durante 10 minutos todos los días a las 18:00 e inundaba la mesa de trabajo donde se encontraban las macetas. La solución sobrante era recogida y devuelta al tanque situado bajo la mesa para su reutilización.

Tabla 4. Relación de efectos de distintas bandas del espectro electromagnético.

Color	Rango del espectro (nm)	Efectos
Ultravioleta	290-400	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención de intumescencias • Defensa contra patógenos • Manipulación de metabolismo secundario
Azul	400-500	<ul style="list-style-type: none"> • Promueve la síntesis de clorofila • Apertura de estomas • Control de ritmos circadianos • Control fototropismo • Interacción con criptocromos y fototropinas • Inhibición alargamiento hipocotilo • Aumento de materia seca y producción de semillas • Aumento ratio de germinación
Verde	500-560	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye crecimiento si ocupa una gran proporción de la radiación • Creación de carotenos • Promueve metabolismo de carbohidratos y nitratos
Rojo	600-700	<ul style="list-style-type: none"> • Elongación de los internudos • Incremento masa seca en tallo y hojas • Tiene la mayor eficiencia en conversión de energía • Relación con el rojo lejano para medir fotoperiodos
Rojo lejano	700-740	<ul style="list-style-type: none"> • Etiolación • Control fotoperiodo



5.4.2. AMBIENTE LED Y MEDIDAS NO DESTRUCTIVAS

El sistema de iluminación LED (24 módulos de producción de Philips) se encontraba a 1.5 m por encima de la mesa de trabajo. El fotoperiodo era de 16 horas, teniendo luz de 09:00 a 01:00 am. El pico de emisión era 662 nm para los LED rojos y

456 para la luz azul. La intensidad media era $150 \pm 20 \mu\text{mol/m}^2\text{s}$. En cada repetición del ciclo las plantas permanecieron en el ambiente LED por 3 semanas. Las mediciones se llevaron a cabo siempre entre las 09:30 y 15:00 para reducir posibles diferencias a causa de la actividad de la planta.

Las mediciones realizadas en esta etapa fueron:

- Conductividad estomática (g_s) en un foliolo maduro perteneciente a la hoja desarrollada más nueva. Se utilizó un porómetro (SC-1, Decagon Devices, Pullman, WA, USA).
- Contenido en pigmentos (clorofila, flavonoles y antocianinas). Se usaba un dispositivo Dualex (FORCE-A, Centre Universitaire Paris Sud, Cedex, France) con el mismo criterio que para la conductividad estomática.

5.4.3. COSECHA Y MEDICIONES DESTRUCTIVAS

Después de la tercera semana bajo la luz de los LED y cuando todas las medidas anteriores se habían realizado, las plantas de tomate se extraían de las macetas y se limpiaban cuidadosamente con agua. Después las plantas cruzaban 3 estaciones:

- Estación 1. Recuento de número de hojas mayores de 1 cm y excluyendo cotiledones, comprobación de la presencia de puntos blancos y determinación de la curvatura de las hojas (arriba, abajo o no presente). Las hojas se van cortando en su inserción en el tallo.
- Estación 2. Medición del área foliar de las hojas cortadas mediante, valga la redundancia, un medidor de área foliar (model 3100, LI-COR Lincoln, Nebraska USA). Tallos (con los cotiledones) y las raíces se mantienen juntos mientras se miden la altura de la planta (desde el extremo apical a la inserción de la primera raíz lateral) y la longitud de las raíces (desde el punto anterior hasta el final de la raíz más larga). Después se separan ambos elementos por el lugar de unión y se pesan (peso fresco) con una balanza electrónica (Henk Maas, Veen, Países Bajos).
- Estación 3. Cada elemento (hojas, tallo y raíces) se deposita en bandejas etiquetadas de aluminio y se secan en hornos ventilados (Westeneng °Ovenbouw, Zwarteboek, Países Bajos) durante 48 horas a 105°C . Tras el secado se vuelve a pesar todo (peso seco) en otra balanza electrónica (Sartorius GMBH Gottingen, Alemania) y finalmente se descartan los restos vegetales. Para comenzar cuanto antes con el nuevo ambiente luminoso se siembran las nuevas semillas antes de terminar esta estación.

5.4.4. POST-ANÁLISIS

El análisis estadístico se realizó utilizando el programa SPSS (versión 22.0.01, IBM, Armonk, New York USA). Las medias de los resultados se compararon utilizando

un t-test con $P < 0.05$. Para facilitar el proceso de exposición de resultados, los pesos fresco y seco de cada planta se consideraron como un total, en vez de desglosarse en tallo, hojas y raíces.

Al ser parte de los resultados confidenciales por pertenecer a las empresas inversoras en el proyecto “LED it be 50%”, se han elegido 9 genotipos para mostrar diferencias representativas entre los dos ambientes. Estos genotipos fueron (Tomato Gene Database, 2015): G1 (*Solanum lycopersicum* ‘Momotaro’, ID: TR00003), G2 (*S. lycopersicum* ‘Rote Beere’, ID: EA01965), G3 (*S. lycopersicum* ‘Colombia’, ID: EA04710), G4 (*S. lycopersicum* ‘Cal J TM VF’, ID: EA02054), G5 (*S. pimpinellifolium* L., ID: EA00674), G6 (*S. habrochaites*, ID: TR0017), G7 (*S. lycopersicum* ‘Watermelon Beefsteak’, ID: EA01640), G8 (*S. lycopersicum*, ‘Ceraciforme’, ID: TR00027), y G9 (*S. lycopersicum* ‘ABC Potato Leaf’, ID: EA05721).

5.5. EXPOSICIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Ver Anejo 4 para una descripción más detallada de los resultados. Tal y como se esperaba, la luz azul aumentó la biomasa (tanto el peso fresco como el seco) de forma importante en la mayor parte de los genotipos. El número medio de hojas también aumentó significativamente en 4 de los genotipos. El área foliar mostró un incremento muy importante en la 7 de los 9 genotipos respecto al ambiente monocromático. La altura de la planta y la longitud de las raíces no mostraron suficientes diferencias significativas para señalar una influencia clara de la composición espectral de la luz. La conductividad estomática tampoco se vio substancialmente influenciada por la presencia de luz azul y solo 3 de los 9 genotipos mostraron diferencias entre los tratamientos. El contenido de clorofila y flavonoles aumentó en casi todos los genotipos pero las antocianinas no mostraron resultados concluyentes. La curvatura de las hojas, entendida como una anomalía en su desarrollo, se desapareció en todos los genotipos salvo en uno al añadir la luz azul.

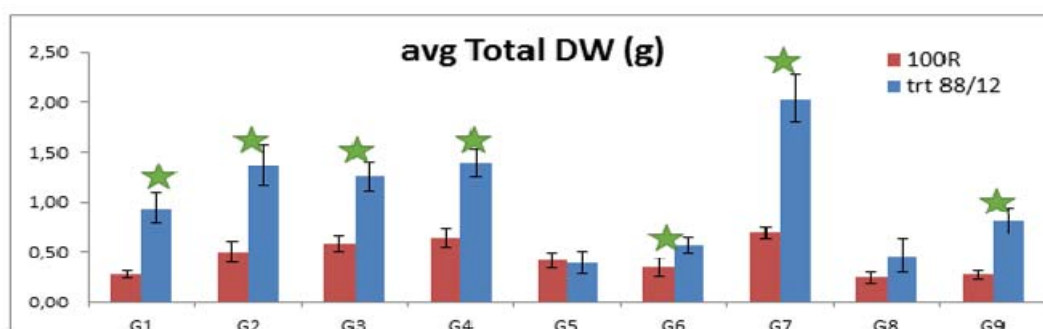


Imagen 4. Gráfica con la comparación de la biomasa seca entre los dos ambientes lumínicos. Se muestran los valores medios (+/- el error estándar de la media) y las estrellas señalan que hay una diferencia significativa entre los ambientes dentro del genotipo.

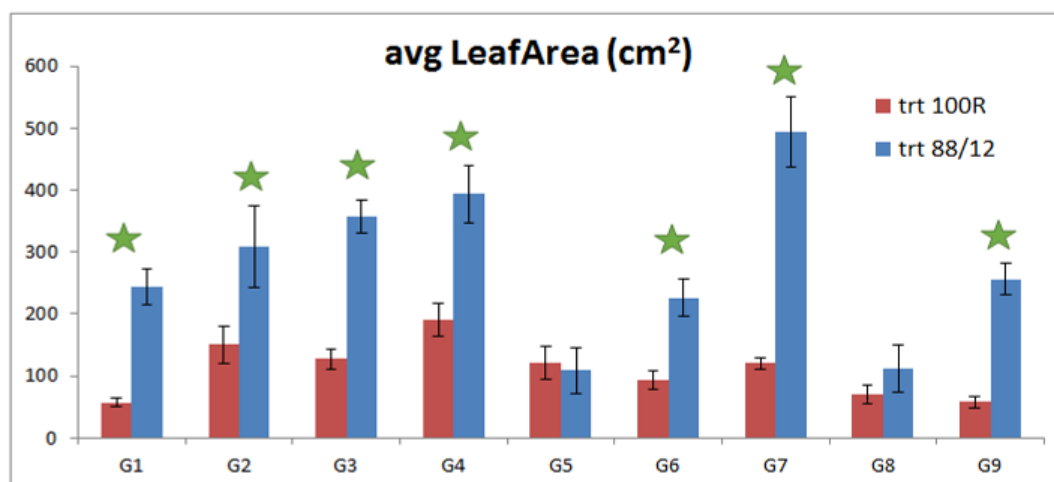


Imagen 5. Gráfica con la comparación del área foliar entre los dos ambientes lumínicos. Se muestran los valores medios (+/- el error estándar de la media) y las estrellas señalan que hay una diferencia significativa entre los ambientes dentro del genotipo.

Estos resultados sugieren que la luz azul causa un incremento en la producción de biomasa, en el contenido de clorofila y antocianinas, en número de hojas y en el tamaño de las mismas. Por otra parte no se encontraron evidencias definitivas en los resultados de la altura de la planta, longitud de las raíces y conductividad estomática, pero quizás esto debería comprobarse con intensidades mayores para obtener mejores conclusiones. Se puede decir que la luz orienta el comportamiento vegetal hacia la eficiencia en la fotosíntesis más que la elongación y el crecimiento, dando como resultado plantas más compactas y eficientes. Las diferencias entre los genotipos muestran que la resistencia y la vulnerabilidad a la ausencia de luz azul dependen de la variedad.

6. PROCESO PRODUCTIVO

6.1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se pretende describir cada elemento que interviene en el proceso productivo que se lleva a cabo en el invernadero de investigación y justificar la elección de dicho elemento. Para ello se analiza la agricultura protegida, los principales tipos de invernadero, el sustrato o soporte para las plantas, el método de riego, la iluminación, las mallas y los sistemas de control.

6.2. AGRICULTURA PROTEGIDA

Un invernadero es toda estructura con cubierta transparente o translúcida enfocada a la protección del cultivo de las condiciones ambientales adversas mediante la creación de un microclima óptimo para la producción vegetal. Debe ser capaz de permitir el paso de una persona erguida y puede incluir el equipamiento mecánico, hidráulico, de calefacción o de ventilación necesarios.

Las características específicas deseables para un invernadero dependen de gran cantidad de factores: la topografía, las necesidades bioclimáticas del cultivo, las características climáticas de los alrededores, la disponibilidad de la tecnología, capital, mano de obra y materiales necesarios. El resultado final del diseño y construcción debe compensar o rectificar los inconvenientes que esos factores puedan causar.

De lo expuesto en la Tabla 5 se extrae que un invernadero crea las características ambientales necesarias para medir la influencia de distintos tratamientos luminosos en el cultivo, además de resguardarlo de situaciones climáticas adversas sin tener que renunciar a la luz y ventilación naturales.

Tabla 5. Características de la producción en invernaderos.

Cualidades de la agricultura protegida en climas templados	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Obtención de productos con alto valor añadido al ser de algún modo exóticos, ya sea por localización o temporada. • Alta calidad y rendimiento en la producción. • Posibilidad de reducir externalidades negativas al reducir el consumo de agua, evitar pérdidas y contaminaciones por fertilizantes y pesticidas. • Alta capacidad de control ambiental para ajustar ciertas características deseables del producto, por ejemplo acelerar o frenar la velocidad de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta inversión por metro cuadrado de producción. • Alto coste de producción, debido principalmente al uso de energía y la necesidad de personal especializado. • Mayores requisitos en el ambiente tecnológico y socioeconómico. • El aislamiento pueden causar problemas debido a altas temperaturas y humedades relativas, la variación de CO₂ en el interior o una reducción de la luz solar.
Principales problemas	Cualidades deseadas
<ul style="list-style-type: none"> • Viento y nieve. • Sombra por la estructura y dispositivos. • Baja temperatura en invierno. • Gran coste en personal y recursos • Picos de calor en verano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilación o sombreado en verano • Sistema de calefacción en invierno • Prevención de pérdidas de calor mediante aislamiento • Alta transmisividad lumínica de la cubierta • Estabilidad frente a cargas de nieve y viento. • Alta capacidad de producción y de reutilización de recursos • Versatilidad

6.3. DISEÑO CUBIERTA Y ESTRUCTURA

En este caso el invernadero posee una cubierta de cristal. La elección de este material, a pesar de la elevada inversión inicial necesaria, se compensa gracias a una gran resistencia a las agresiones climáticas, químicas o impactos que puedan suceder, tiene muy buena transmisividad con menores pérdidas de calor y una vida útil mucho más larga que el plástico. Además, las cubiertas de cristal presentan una menor condensación y una mayor estanqueidad, que evita problemas de enfermedades y entrada de patógenos. Por estas razones los invernaderos de cristal son los más utilizados cuando, como es el caso, prima la seguridad por proteger materiales de gran valor. Las planchas de cristal de la cubierta a dos aguas son translúcidas para mejorar la difusión de la luz a lo largo de toda la altura de la planta evitando formar sombras mientras que las láminas situadas en las paredes son transparentes.

Tabla 6. Comparativa de diseños de estructura de invernadero de cristal

Característica	Venlo	Gran envergadura
Ventilación		+
Precio	+ en grandes superficies	+ en pequeñas superficies
Vida útil		+
Construcción	+	
Luz suplementaria	+	
Transmisión de luz	+	
Eficiencia energética	+	
Cantidad de aire		+
Versatilidad		+ (en pequeñas superficies)
Dimensiones (m)		
Ancho	3.2-4-12*	6.4-20
Largo	3-5	3-4.5
Alto del pilar	2.2-5	2.7-3.5

Los dos modelos de estructura más extendidos en invernaderos de cristal son el Venlo y el invernadero de gran envergadura. El primero se caracteriza por tener un único panel de cristal entre la limatesa y la limahoya. Todas sus dimensiones están ya estandarizadas y reguladas y esto ha resultado en un descenso increíble del precio y tiempo de construcción. Es el tipo de invernadero de cristal más utilizado en producción comercial y en investigación a gran escala. Esto es debido a que la estandarización de sus componentes permite añadir superficie acoplando nuevos módulos o dividir el

espacio fácilmente. En el caso del invernadero de gran envergadura el diseño permite poner varios paneles de cristal entre la limatesa y la limahoya, dando lugar a envergaduras muchos mayores (hasta 20 m) entre pilares. Además de una vida útil más larga que el modelo Venlo, su forma proporciona un mayor volumen de aire dentro del invernadero, menos columnas para favorecer la mecanización y una mejor ventilación.

A partir de las características anteriormente descritas y de la comparativa de la Tabla 6 se deduce que el diseño de invernadero que mejor se adapta a las condiciones del invernadero del centro de investigación es uno de tipo de gran envergadura dividido en varias cabinas.

6.4. SOPORTE HIDROPÓNICO

La necesidad de aislar al invernadero de investigación de factores externos incontrolables obliga a eliminar la opción de cultivar las plantas en suelo normal y por tanto se elige la técnica de cultivo hidropónico como soporte para la planta. Algunas de las ventajas de un sistema de hidroponía bien gestionado son la óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, un mayor control y homogenización del aporte de nutrientes, ausencia de patógenos propios, más eficiencia en la incorporación de nutrientes por las plantas y la posibilidad de implementar un circuito cerrado de nutrientes en el que se recoja el agua, se esterilice y se vuelva enriquecer con nutrientes antes de almacenarse para el siguiente riego. Como desventajas de la hidroponía respecto al uso de tierra se pueden citar el mayor coste de instalación, tanto de instalación como de mantenimiento; un mayor riesgo debido a la poca capacidad de tampón de la solución nutritiva y a una expansión de enfermedades a través del agua de riego, y por último, un mayor grado de exposición a cambios de temperatura por la menor inercia térmica del sistema respecto al del suelo.

Aún con estos inconvenientes, el cultivo hidropónico supone una alternativa sostenible y rentable en tiempo y dinero, ya que permite la obtención segura de un producto muy homogéneo con el mínimo consumo de agua y fertilizantes. Sin embargo, y si fuese necesario por la naturaleza de la planta a estudiar o del experimento, se podría utilizar tierra, esterilizada o no, para llevar a cabo los ensayos en el invernadero.

Existe un gran número de materiales de buena calidad, para los que el criterio de elección depende principalmente de su disponibilidad, su coste y la experiencia local en su empleo. A nivel europeo, los sustratos más extendidos en la hidroponía son la perlita, la fibra de coco y la lana de roca.

Tras comparar las ventajas e inconvenientes de los tres sustratos (Tabla 7), se descarta en primer lugar la perlita por el riesgo de disminución de la aireación y por tanto del drenaje que se correría con una mala manipulación. Se elige la fibra de coco por encima de la lana de roca por el ahorro de agua y abonos, y la tranquilidad de que si

se va la luz del invernadero el sustrato conservará la humedad y preservará la integridad de la planta por unos días.

Tabla 7. Comparativa de sustratos hidropónicos.

Material	Lana de roca	Perlita	Fibra de coco
Porosidad total (%vol.)	93	85,9	96,1
Densidad aparente (g/cm ³)	0,08	0,143	0,059
Agua fácilmente disponible (%vol.)	30	24,6	19,9
Agua de reserva (% vol.)	0,9	7	3,5
Capacidad de aireación (% vol.)	35-45	29,1	44,9
CIC (meq/100 g)	0	1,5-2,5	61
Duración	Media	Media	Alta
Materia inerte	Alta	Alta	Media
Capacidad tampón	Media	Media	Alta
Prevención colmatación	Alta	Baja	Alta
Porosidad (%)	Media	Baja	Alta
Biodegradación y reciclaje	Baja	Baja	Alta

6.5. RIEGO

El aporte de agua y nutrientes minerales esenciales (macronutrientes primarios N, P, K; secundarios Ca, Mg, S; micronutrientes Fe, Mn, Cu, B, Zn) se realiza mediante la denominada fertirrigación. Esto consiste en la disolución controlada de los nutrientes a en el agua de riego. De esta manera se puede manipular la concentración de dichos nutrientes y por tanto controlar el acceso a los mismos por la planta con el fin de estudiar su desarrollo. La mezcla se lleva a cabo en tanques en los laboratorios del edificio anexo que pertenece al mismo centro investigador y que después se transportan al invernadero. El contenido del tanque puede ser bombeado a la superficie de la mesa para que inunde la bandeja sobre la que se encuentran los recipientes con las plantas o distribuido de forma individual y manual mediante dispensadores de pistola. El líquido excedente es recogido y devuelto al tanque para su reutilización. En los experimentos en los que se utilice tierra en vez de sustratos hidropónicos se puede usar agua a partir de una toma de riego de las fincas de alrededor.

6.6. CONTROL AMBIENTAL

La manipulación de factores como la temperatura y humedad relativa se puede llevar a cabo mediante dispositivos presentes en cada cabina y que actúan cuando así lo requiera la naturaleza de la investigación en cada momento. Cada cabina cuenta con un humidificador por pulverización, un radiador, un ventilador y ventilación cenital mediante un motor. A su vez, cada mesa tiene, por debajo de la superficie de trabajo, un circuito de agua caliente para aportar calor a las plantas si fuese necesario. También se puede aumentar la ventilación a través de una trampilla manual encima de la puerta que conecta al pasillo, donde se puede abrir una ventana que recorre lo longitudinalmente. Otro dispositivo que será mencionado en el apartado de iluminación pero afecta al control de temperatura es la malla híbrida de ahorro de energía y sombreamiento, que se puede utilizar tanto para retener el calor dentro o para aislar parcialmente la cabina del calor exterior. Hay que añadir aquí los dispensadores de productos fitosanitarios que se pueden instalar dentro de cada cabina y que están dedicados a la protección, o a experimentos sobre la misma, contra patógenos.

6.7. ILUMINACIÓN

El conjunto de iluminación artificial del invernadero consta en la actualidad de 3 subsistemas:

6.7.1. LÁMPARAS HPS

Las luces de alta presión de sodio es el principal sistema de iluminación presente en el invernadero hasta ahora. Se disponen a razón de 24 lámparas con un año de antigüedad en cada cabina, en una matriz de 4 columnas y 6 filas. Posee un espectro de emisión con una composición de hasta el 95% de rojo y 5% de luz azul, también tiene unos buenos parámetros de vida útil y consumo de electricidad. Estas cualidades si bien hacen a este sistema de iluminación ser idóneo para explotaciones comerciales, al emitir un espectro fijo se vuelve incapaz de proporcionar una capacidad básica de control espectral luminoso. Su principal uso por tanto en este centro de investigación es la manipulación del fotoperiodo al sustituir a la luz solar cuando esta es insuficiente, incrementando las horas de actividad fotosintética y potenciando el desarrollo de la planta.

6.7.2. ILUMINACIÓN AUXILIAR

Consiste en la iluminación utilizada por el personal de investigación y servicio para poder operar adecuadamente cuando no hay luz de otro tipo. Consiste en tubos fluorescentes en el pasillo, cabinas y sala de control, además de los métodos de señalización auxiliar para indicar la salida de la instalación.

6.7.3. MALLA DE SOMBREO

Son unas mallas híbridas (bandas alternas de tejido aluminado y plástico translucido) cuyo objetivo es tanto aislar el interior de cada cabina de la radiación exterior como evitar pérdidas de energía a la atmósfera. En el primer caso se evitan interferencias de la radiación solar en los experimentos del invernadero y en el segundo ahorrar energía o reducir la contaminación lumínica por la noche si la iluminación suplementaria está encendida. Cuando no se necesita su uso se enrollan en el centro y en un lado de cada cabina. Pueden desplegarse o recogerse individualmente mediante motores eléctricos para crear distintas condiciones de iluminación. Si fuese necesario aumentar la el aislamiento se pueden colocar manualmente mallas de sombreo en las paredes.

6.8. SISTEMAS DE CONTROL

El seguimiento y control de las instalaciones del invernadero está gobernado en la actualidad por un sistema de control, que recoge el estado de las señales digitales y analógicas procedentes de la instalación e instrumentos, que procesa las instrucciones de acuerdo con lo establecido en el programa de usuario y genera las salidas, transmitiendo esta información al sistema de control central para el procesamiento de la información obtenida.

La instalación actual de control e instrumentación del invernadero dispone de:

- Autómata o PLC (controlador lógico programable) modular para el tratamiento de variables analógicas y digitales, que son procesadas mediante un programa. Este equipo consta de una CPU para interpretar, leer y enviar información; memoria para almacenar información, una fuente de alimentación y módulos de entrada y salida de los conectores.
- Ordenador tipo PC para comunicar con el autómata con los objetivos de:
 - Modificar la programación de procesos.
 - Visualizar el estado de las entradas y salida, así como sus diferentes históricos.
- Conmutador o switch que interconecta los diferentes dispositivos de la red internamente (PLC y ordenador) y externamente a Internet mediante el Router.
- Actuadores de la instalación, como motorreductores de las ventanas cenitales y lateral, humidificadores por pulverización, ventiladores, interruptores del sistema de iluminación, bomba de riego, dispensadores de productos fitosanitarios y generadores de aire caliente.
- Sensores para informar al sistema. Un sensor es un instrumento que es capaz de detectar magnitudes físicas o químicas (temperatura, humedad, etc.) y transformarla en una variable eléctrica. La información del ambiente exterior del invernadero se extrae en tiempo real de la estación meteorológica situada en la misma finca de La Grajera y el Servicio de Información Agroclimático de La

Rioja se encuentra en el mismo Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino. Para la información sobre la velocidad del viento y su dirección se cuenta con un anemómetro y veleta en el exterior del invernadero. Actualmente hay instalados en el interior del cada cabina del invernadero sensores de humedad relativa, temperatura y fotoeléctricos (de intensidad y espectro)

- Red o sistema de comunicaciones formado por:
 - Entre los sensores y los accionamientos del cuadro eléctrico con el PLC, una red de cables denominados ROV-K 0,6/1 kV según UNE 21123-2, formado por conductores de cobre flexible clase 5, según UNE 21022.
 - Para conectar el PLC con el ordenador mediante cables USB y ETHERNET. Entre los diferentes tipos de cable red, el instalado es el tipo UTP que consta de 4 pares de hilos recubiertos con una malla metálica cuyo propósito es el de proteger los datos de todo tipo de interferencias eléctricas.

A la instalación de control e instrumentación hay que añadir la conexión de los nuevos actuadores en el sistema de iluminación y los sensores al PLC, que se describirá en el Anejo 5.

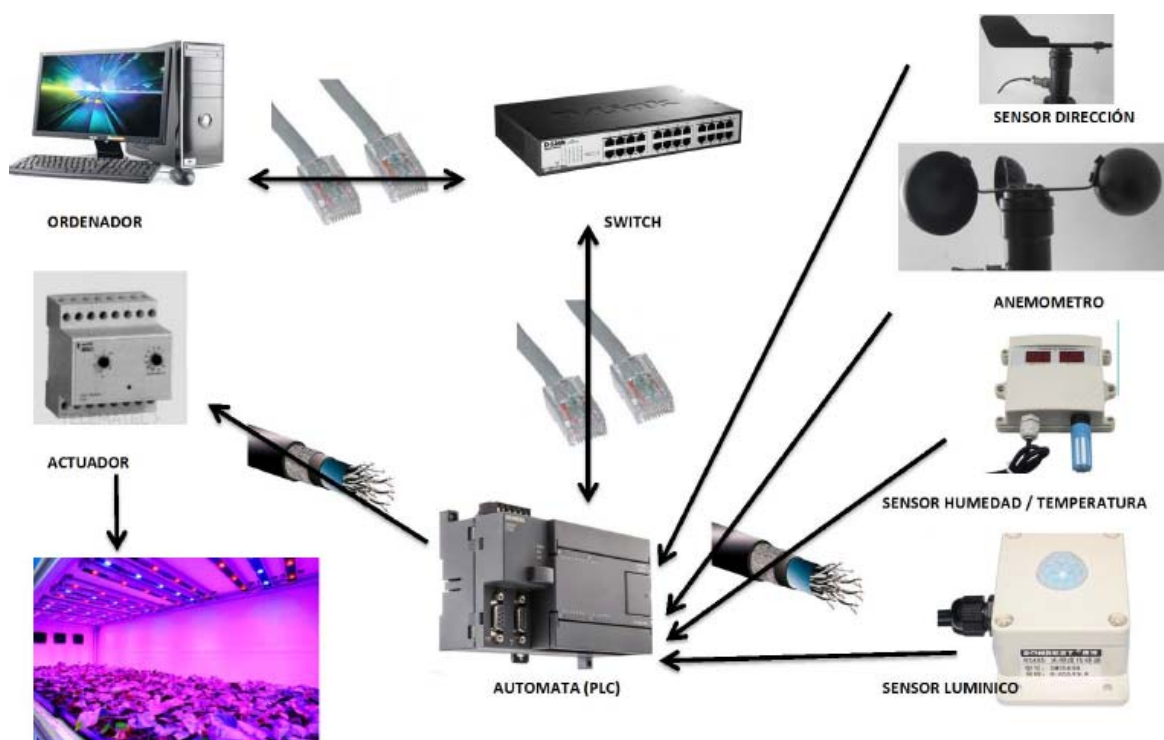


Imagen 6. Esquema del sistema de control.

7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

En el Anejo N°6 se justifica el cálculo y selección de las luminarias adoptadas en este proyecto y en Anejo N° 5 se describe en mayor profundidad los sistemas de iluminación y control propuestos. En el Documento N° 2 se representa la disposición de las mismas dentro de cada cabina.

7.1. ILUMINACIÓN LED

Estas lámparas se han proyectado en todas las cabinas para instalarse en luminarias con forma de barra y en dos disposiciones distintas. Un alumbrado superior con 28 luminarias (4 columnas 7 filas) y un alumbrado interior colocado entre las plantas para asegurar una distribución más homogénea de la luz a lo largo de toda la altura de la planta cuando la intercepción de las capas altas de vegetación reste eficacia a la iluminación superior. Esta iluminación interior se divide a su vez en dos módulos según la altura respecto al plano de trabajo con 20 luminarias cada uno en forma de espaldera vertical. Gracias a la capacidad de controlar el espectro combinando distintos LEDs, este sistema de iluminación alcanza una altísima capacidad de control en el desarrollo vegetal, tanto en lo relativo a fotosíntesis, fotoperiodo, como fototropismo o fotomorfogénesis.

Tras contactar con varias compañías productoras de módulos LED (Hortilux, Sylvania, Philips, Panasonic, etc) el proyectista se decide por los modelos GreenPower LED toplighting y interlighting modificados según sus especificaciones para proporcionar luz con un mayor porcentaje de azul. Las distintas composiciones espectrales son en porcentaje (%) 50rojo/50azul en los LEDs superiores y 80rojo/20azul en los interiores. A esto hay que sumarle el espectro emitido las HPS, que contiene alrededor del 95% de rojo y amarillo y un 5% azul.

En el proyecto se contempla:

- La instalación de 28 luminarias superiores para cada cabina del invernadero, repartidos en 4 filas de 7 luminarias cada una. Las 28 luminarias con una emisión de fotones unitaria de 520 $\mu\text{mol/s}$, emiten un total de 14.560 $\mu\text{mol/s}$, cantidad superior a los 14289,70 necesarios según el método de factor de utilización, por lo que se considera un diseño correcto.
- La instalación de 20 luminarias a colocar en la parte interior de las plantas, para aportar el flujo lumínico necesario cuando éstas adquieran una altura tal que la iluminación suspendida del techo no sea efectiva debido a la intercepción de las hojas superiores. Esta fila de luminarias aportará los fotones necesarios a la mitad inferior de las plantas. Para la mitad superior, se establecerá otra distribución idéntica, con otras 20 luminarias que al tener la misma altura útil se rigen por los mismos cálculos de diseño. Se trata de una distribución en doble línea.

7.2. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

En el Anejo nº7 se justifica el cálculo y selección del resto de los elementos que conforman la instalación eléctrica (cuadros y conducciones) para dar servicio a las luminarias a instalar. En el Documento Nº 2 se incluyen los diagramas unifilares de la instalación.

7.3. SISTEMA DE CONTROL

A la instalación de control e instrumentación hay que añadir la conexión de los nuevos actuadores en el sistema de iluminación y los sensores al PLC.

Se plantea poner un driver en cada circuito de lámparas que permita variar la tensión y mantener la corriente constante. Este driver sería el actuador que regularía la intensidad luminosa emitida por ese circuito. Todos los drivers están conectados por un bus que los conecta a una tarjeta de comunicación DALI (Digital Addressable Lighting Interface) que se ha adjuntado al resto de las tarjetas y la CPU que forman el PLC. Del autómatas va un cable Ethernet hasta un ordenador con un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para mostrar una interfaz al operario que le permita programar a los actuadores los horarios o condiciones de encendido, la intensidad luminosa y la sectorización de la luz. De esta manera se puede ahorrar energía y aumentar la vida útil de los LEDs. Se ha optado por un driver por línea para dar la flexibilidad necesaria al sistema para crear distintas condiciones de luz

Se ha elegido un bus de comunicaciones por ser un sistema capaz de unir el alto número de drivers por cabina con un único conductor. Para los sensores lumínicos a añadir se ha decidido poner uno en el centro de cada cabina y conectarlos a la tarjeta de sensores lumínicos preexistente.

8. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

En el Anejo 7 “Estudio Básico de Seguridad y Salud” se encuentran las disposiciones de seguridad y salud para dar cumplimiento al Real Decreto 1627/1997 del 24 de Octubre y a la Ley 31/1995 del 8 de noviembre sobre prevención de riesgos laborales. En este anejo se describe el emplazamiento de la obra, las disposiciones sobre instalaciones provisionales y asistencia sanitaria, los medios auxiliares empleados en la obra y los riesgos laborales. Estos últimos se dividen en completamente evitables, los no eliminables y los especiales. En el Presupuesto de este Proyecto se ha previsto una partida de 650 € para asegurar la toma de las medidas expuestas en el anejo.

9. GESTIÓN DE RESIDUOS

Debido a que no se alcanzan los requisitos mínimos que marca la legislación para realizar un estudio detallado de gestión de residuos, no se redactará un anejo

especializado en este Proyecto. Sin embargo, en el Documento nº 3, punto 4.6, se recogen las indicaciones que marca la ley para el tratamiento de los posibles residuos.

10. ESTUDIO ECONÓMICO

10.1. INTRODUCCIÓN

Hay que tener en cuenta que este proyecto tiene una finalidad de investigación por lo que no está entre los objetivos del promotor el maximizar la rentabilidad. Pese a ello, se han buscado métodos de financiación para poder conseguir la viabilidad necesaria para desarrollar el proyecto. Por tanto, se propone un escenario en el que no se busca optimizar los beneficios, si no únicamente recuperar la inversión inicial y evitar pérdidas a lo largo de su vida útil.

La vida del proyecto se estima en 14 años. Este dato se obtiene teniendo en cuenta los siguientes datos: una vida útil media de las lámparas de 25000 horas, un fotoperiodo medio de 12 horas durante dos tercios del año (8 meses) y un coeficiente de uso del 60% de la instalación total.

$$25000/(12*30*8*0.6)=14.46 \text{ años}$$

10.2. FLUJOS DE CAJA

Para analizar la viabilidad de este proyecto en el ámbito económico, se ha comenzado por realizar un cuadro de flujos de caja en base a los presupuestos. En el Anejo N°10 se encuentran explicados en mayor profundidad el origen y la razón de cada elemento.

Tabla 8. Flujos de caja a lo largo de la vida útil

Año	Inversión	Pagos	Cobros en subvenciones	Cobros en Alquileres	Cobros en Cursos	Flujo de Caja
0	2016	94.898,55 €	- €	- €	- €	94.898,55 €
1	2017	- €	22.107,15 €	49.142,39 €	- €	27.035,25 €
2	2018	- €	44.214,29 €	27.412,86 €	- €	16.801,43 €
3	2019	- €	44.214,29 €	27.412,86 €	- €	16.801,43 €
4	2020	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
5	2021	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
6	2022	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
7	2023	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
8	2024	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
9	2025	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
10	2026	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
11	2027	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
12	2028	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
13	2029	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
14	2030	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
VAN						892,15 €
TIR						3%

10.2.1. PAGO DE LA INVERSIÓN Y OTROS COSTES

Se desglosan las distintas partidas

<u>Inversión necesaria</u>			94.898,55 €
<u>Costes anuales derivados de la implantación de la tecnología</u>			<u>44.214,29 €</u>
Mantenimiento y reposición	0,50%	94.898,55 €	474,49 €
Costes de personal	% jornada	Sueldo anual	
- Ingeniero director	15,00%	36.000,00 €	5.400,00 €
- Ingeniero senior	40,00%	24.500,00 €	9.800,00 €
- Becarios	200,00%	5.820,00 €	11.640,00 €
Total Costes personal			26.840,00 €
Suministro de materiales y plantas. Analíticas.			6.000,00 €
Gastos administrativos y varios			4.200,00 €
Coste de la energía	€/kWh	kWh	€/año
	0,09	74.442	6.699,80 €

10.2.2. COBROS

Los cobros (C) son las entradas de recursos monetarios en caja. Cualquier proyecto empresarial debe generar entradas para cumplir sus objetivos, no obstante, en este caso, dado que se trata de una instalación de investigación, este apartado se va a plantear como la financiación mínima necesaria para que el Proyecto sea viable. Tal y como se indica en la Tabla 8, los cobros de este proyecto se dividen en tres unidades fundamentales:

- Subvenciones para promover la investigación del Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria (INIA) y de la Agencia de Desarrollo Económico de La Rioja (ADER) principalmente, aunque se deja la puerta abierta a buscar más fuentes de subvenciones.
- Alquiler de instalaciones.
- Asesorías externas a empresas, cursos para interesados, etc.

10.3. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

En el Anejo N°10 se ha realizado el análisis de rentabilidad, obteniéndose los siguientes valores en los indicadores de Valor Actual Neto, Tiempo Interno de Retorno, Pay Back y relación beneficio/inversión:

Indicador	Valor
VAN	892.15 €
TIR	3 %
Pay Back	14 años (vida útil del proyecto)
Beneficio/Inversión	0.06

Estos resultados son los mínimos posibles para asegurar la recuperación de la inversión inicial y los costes derivados de su uso a lo largo de la vida útil del proyecto.

11.PRESUPUESTO

En el Documento 4 “Presupuesto”, se ha desarrollado en distintos capítulos el coste de los equipos eléctricos e iluminación LED, el estudio de seguridad y salud y una partida para imprevistos y resolución de afecciones. La suma arroja un presupuesto de ejecución material de 79.746,68.-€. Sumando unos gastos generales del 13% y un beneficio industrial del 6% se obtiene un presupuesto base de licitación de 94.898,55.-€. Añadiendo después un I.V.A. vigente del 21% se alcanza un importe total de 114.827,24.-€.

Madrid, noviembre 2016

Emilio Villar Alegría

El Autor del Proyecto

12. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Baixauli Soria, C. &. (2002). *Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias*. (No. C057. 013).
- Baudoin, W. N. (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo. Medios y Técnicas de Producción. Suelo y Sustratos. FAO. Roma,.
- Brazaitytė, A. D. (2010). The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants. *Zemdirbyste-Agriculture*, 89-98.
- Canakci, M. a. (2006). "Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production." . *Energy* 31.8, 1243-1256.
- Chang, C. L. (2014). A supplementary lighting and regulatory scheme using a multi-wavelength light emitting diode module for greenhouse application. *Lighting Research and Technology*, , 46(5), 548-566.
- Frechilla, S. Z. (1999). Stomata from npq1, a zeaxanthinless arabidopsis mutant, lack a specific response to blue light. *Plant Cell Physiol.* , 40(9):949-954.
- Gómez, C. &. (2015). Growth Responses of Tomato Seedlings to Different Spectra of Supplemental Lighting. . *HortScience*, 50(1), 112-118.
- González, M. Á. (s.f.). *Propiedades ópticas de filtros líquidos para veraneros Optical Properties of Liquid Filters for Veraneros (Solar-Energy Controlled Weather Chamber)*. La Havana, Cuba: Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía .
- Hernández, J. C. (2006). Evolución de las estructuras de invernadero. , . *Plasticulture: Revue du CIPA= Journal of CIPA*, (125), 8-17.
- Hershey, D. R. (1991). Plant Light Measurement & Calculations. En *The American Biology Teacher* (págs. 53(6), 351-353.).
- Higashide, T. &. (2009). Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. . *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134(4), 460-465.
- Hogewoning, S. W. (2010). Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. *Journal of experimental botany*, 61(11), 3107-3117.
- Hogewoning, S. W. (2010). An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra. *Journal of experimental botany*, 61(5), 1267-1276.
- Hogewoning, S. W. (2012). Photosynthetic quantum yield dynamics: from photosystems to leaves. . *The Plant Cell*, , 24(5), 1921-1935.
- Jensen, M. H., & Malter, A. J. (1995). Protected agriculture : a global review. no. WTP 253. Washington, D.C. : The World Bank.
- Julė Jankauskienė, A. B. (2015). Effect of Different Growing Substrates on Physiological Processes and Productivity in soilless tomato culture. En *"Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops"*,.
- Martin Ramos, P. N.-N.-G. (2010). *Diodos emisores de luz para la irradiación de plantas*.
- Massa, G. D. (2008). Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience*, 43(7), 1951-1956.
- Ménard, C. D. ((2005, June)). Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. . *InV International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture*, (págs. 711 (pp. 291-296).).
- Montero, J. I. (2012). Desarrollo de estructuras para invernaderos. *Cuadernos de estudios agroalimentarios*, (3), 45-70.
- Morrow, R. C. (1988). Evidence for involvement of phytochrome in tumor development on plants. *Plant physiology*, 88(4), 1110-1114.
- Morrow, R. C. (2008). LED lighting in horticulture. *HortScience*, 43(7), 1947-1950.
- Neil Mattson, A. P. (Mayo de 2016). <http://www.greenhouse.cornell.edu/structures/factsheets/Greenhouse%20Lighting.pdf>.
- Nurzyński, J. (2013). Yield and quality of greenhouse tomato fruit grown in rape straw substrates.
- Ouzounis, T. (-.-o. (2014). *Spectral effects of light-emitting diodes on photosynthetic characteristics and secondary metabolism in greenhouse plants* . (Doctoral dissertation, SDUSDU, Det Tekniske FakultetFaculty of Engineering, Institut for Kemi-, Bio-og MiljøteknologiInstitute of Chemical Engineering, Biotech and Environmental Technology.
- Ouzounis, T. P. (2015). Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigment in *Lactuca sativa*. *Frontiers in plant science*, 6.

- Rajapakse, N. C. (1999). Plant height control by photoselective filters: current status and future prospects. *HortTechnology*, 9(4), 618-624.
- Smith, H. (2000). Phytochromes and light signal perception by plants—an emerging synthesis. *Nature*, 407(6804), 585-591.
- Van Ieperen, W. (2012). Plant morphological and developmental responses to light quality in a horticultural context. In *VII International Symposium on Light in Horticultural Systems*, (págs. 956 (pp. 131-139)).
- Van't Ooster, A. H. (2015). *Greenhouse technology*. Wageningen University.
- Von Elsner, B. e. (2000). "Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union Countries, Part II: typical designs.". *Journal of agricultural engineering research* , 75(2), 111-126.
- Von Elsner, B. e. (2000). "Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I, design requirements.". *Journal of Agricultural Engineering Research* , 75(1), 1-16.
- Watanabe, H. (2009). Light-controlled plant cultivation system in Japan-development of a vegetable factory using LEDs as a light source for plants. In *VI International Symposium on Light in Horticulture*, (págs. 907 (pp. 37-44)).
- Yeh, N. &. (2009). High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation,. . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2175-2180.

ANEJO Nº 1.- ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE PARTIDA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN E HISTORIA.....	2
2. ÁREA DEL PROYECTO.	6
2.1. Naturaleza del proyecto	6
2.2. Localización	6
3. CONDICIONANTES.....	7
3.1. Condicionantes del promotor	7
3.2. Criterios de valor del promotor	7
3.3. Antecedentes	8
4. SITUACIÓN ACTUAL	9
5. SITUACIÓN FUTURA SIN PROYECTO	10
6. ANÁLISIS DAFO	11
7. TRABAJOS CONSULTADOS.....	11

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Palm house en los Royal Botanic Garden de Kew, Londres, Reino Unido.	3
Imagen 2 Modelo de invernadero.....	3
Imagen 3 Ejemplo de proliferación de invernaderos de plástico en Almería.	4
Imagen 4. Localización del invernadero.....	6
Imagen 5. Perspectiva del invernadero existente.....	7
Imagen 6. Planta de la instalación actual de iluminación suplementaria en el invernadero.	10
Imagen 7. Interior de una cabina de experimentación.....	10

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis DAFO. Elaboración propia.....	11
---	----

1. INTRODUCCIÓN E HISTORIA

Se puede decir que todo el desarrollo tecnológico humano ha tenido desde siempre un único objetivo: eliminar la incertidumbre. Esto quiere decir erradicar la inseguridad y el desconocimiento del futuro, intentando estar un paso por delante de los acontecimientos. El ser humano se ha aprovechado de las plantas para obtener alimentos y otras materias primas para que le ayudaran en este desarrollo. En un principio las personas solo eran capaces de recolectar lo que crecía libremente en su ambiente y por tanto dependían de la naturaleza sin ser capaces de influir en ese proceso. El nacimiento de la Agricultura fue el primer momento de consciencia de que se podía favorecer la propagación de las especies útiles y decidir cuándo, dónde y cuanto iban a producir esas plantas recién domesticadas. De esta manera, el hombre era por primera vez libre de asentarse sin acabar con su fuente de alimento en el corto plazo.

Sin embargo, como cualquier otro ser vivo, las plantas necesitan unas ciertas características ambientales (luz, temperatura, humedad) que influyen en su desarrollo con diversos resultados. Cuando estas condiciones no son las óptimas se reduce o inhibe la producción, y por tanto, acaban con la seguridad alimentaria que la Agricultura intentaba conseguir en primer lugar. Los agricultores pronto se dieron cuenta de que podían proteger a estas plantas del frío y el viento para reducir las amenazas a la producción. De esta manera surgió la agricultura protegida, que ya cumplía una definición actual como: “La manipulación del ambiente para optimizar el crecimiento vegetal” (Jenner & Malter, 1995). Un ejemplo son los huertos cerrados de los monasterios del Norte y Oeste de Europa. Los monjes se dieron cuenta que los muros, al cortar el flujo del aire, creaban un microclima que amortiguaba los cambios de temperatura y que facilitaba el crecimiento de las hortalizas, aun en temporadas en las que era imposible cultivarlas en campo abierto. Esta primitiva agricultura protegida se perfeccionó añadiendo una cubierta transparente para aislar totalmente a la planta durante los siglos XVIII y XIX en las orangeries. Estas estancias añadidas a las residencias aristocráticas se dedicaban a proteger durante el invierno a naranjos y limoneros que crecían en cajones para transportarlos al exterior en verano. Las orangeries fueron las primeras construcciones en cumplir la definición actual de invernadero:

“Estructura con cubierta transparente o translúcida enfocado a la protección del cultivo de las condiciones ambientales adversas mediante la creación un microclima óptimo para la producción vegetal. Debe ser capaz de permitir el paso de una persona erguida y puede incluir el equipamiento mecánico, hidráulico, de calefacción o de ventilación necesarios” (Jenner & Malter, 1995).



Imagen 1. Palm house en los Royal Botanic Garden de Kew, Londres, Reino Unido.

Los primeros invernaderos de vidrio continuaron con la idea de las orangeries y se dedicaban al cultivo de especies exóticas en jardines botánicos (Imagen 1) y ya se calentaban mediante carbón o fermentación de estiércol. Alrededor de la década de 1850 en los Países Bajos se empezó a usar estos invernaderos para producir uvas por primera vez para el consumo general, dejando de estar limitados al consumo de las élites.

La introducción de los avances de la Revolución Industrial llevó consigo la expansión de los invernaderos de estructura de acero y se empezó a instalar doble cristal para mejorar el aislamiento. A lo largo del siglo XX, los Países Bajos se afianzaron como centro investigador de primer orden sobre control climático en agricultura protegida y estos esfuerzos resultaron en la creación del primer modelo Venlo en 1937

Imagen 2). Debido a su capacidad de adaptación a cualquier clima y cultivo, este modelo de invernaderos de cristal es el más extendido en el mundo (Hernández 2006).



Imagen 2 Modelo de invernadero Venlo.

La primera alternativa al cristal surgió poco después de la Primera Guerra Mundial, con la aparición de los plásticos, en especial el polietileno y el PVC (policloruro de vinilo) y tras la Segunda Guerra Mundial los plásticos rígidos a base de

poliéster. Estos materiales ofrecían por una parte un gran abaratamiento pero por otra parte no resultan tan buenos aislantes térmicos ni transmiten tanta luz, además de que su vida útil es de alrededor de 2-3 años. Además, al ser más fáciles y baratos de diseñar e instalar, su periodo de amortización es mucho más corto y no necesita de tanta estabilidad en el aspecto sociopolítico como una mucho mayor inversión en invernaderos de cristal. En general, los invernaderos de plástico se han extendido por las regiones donde estos factores son más limitantes, principalmente la ribera mediterránea (destacando el tipo parral en Almería), Oriente Medio (Israel y Turquía) y América Latina (Baudoin 2002) (Imagen 3).



Imagen 3 Ejemplo de proliferación de invernaderos de plástico en Almería.
https://www.google.es/search?q=almeria+invernaderos&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0OahUKEwizjrGLn5jMAhXBd5oKHZ_HAesQ

Las últimas décadas se han caracterizado por la expansión de la informática y la automatización en todos los ámbitos, incluida por supuesto la agricultura. Dentro de la agricultura protegida se ha profundizado en la idea de seguir ofreciendo a la planta el mejor ambiente pero intentar reducir las desventajas que esta producción ocasiona. La alta competitividad en el mercado agrícola por una parte, y por otra la necesidad de mantener poblaciones en rápido crecimiento en un mundo cada vez más urbano, junto con la amenaza del cambio climático han dado como resultado avances para aumentar la producción por unidad de superficie, especialmente en las agriculturas protegida y urbana (Yeh 2009).

Algunos ejemplos de soluciones son:

- Sistemas de ventilación forzada o automática para la acumulación de humedad. Esto evita que una alta humedad relativa limite la transpiración y por tanto a producción en ambientes cerrados, además de que favorece la proliferación hongos y bacterias parasitas. Una alta condensación en la cubierta puede reducir

- la luz entrante y aumentar las pérdidas de calor en los invernaderos climatizados.
- El control integrado de plagas. En las décadas anteriores y debido al uso indiscriminado de pesticidas se había llegado a la inmunización de las plagas y la eliminación de polinizadores. En vez de la solución química, se está tratando de promover el control biológico para mantener las plagas bajo el umbral de impacto económico y el alquiler de colmenas de abejas y abejorros para polinizar los cultivos.
 - Optimización de los viejos diseños de invernaderos y nuevos materiales para la cubierta.
 - Sistemas de circuito cerrado de agua o de recolección de agua de lluvia en la cubierta. Se han dado ejemplos (región de El Ejido, Almería) de desgaste de acuíferos por el riego o contaminación con agua salada o fertilizantes. Los invernaderos de cristal del norte de Europa recogen el agua sobrante del riego para esterilizarla, enriquecerla con nutrientes y volver a utilizarla.
 - El uso de energías renovables, el aprovechamiento para fertilización carbónica del CO₂ de la industria o la calefacción del propio invernadero para reducir el uso de energías fósiles o al menos rentabilizarlas. Además de reducir los impuestos a pagar en concepto de los cánones de dióxido de carbono se consigue incrementar la producción al reducir la tasa de fotorrespiración.
 - Iluminación suplementaria cuando por la luz natural actúa como factor limitante, ya sea por la latitud, la estación del año, la hora del día o la cubierta del invernadero. Esta carencia condicionaba tanto la cantidad de producción como para la variedad de especies que se podían cultivar.

La iluminación suplementaria mencionada en este último punto ha sido tradicionalmente proporcionada por lámparas de sodio de alta presión (HPS High Pressure Sodium lamp) en los invernaderos a gran escala y por tubos fluorescentes (FT Fluorescent Tubes) en los centros de investigación en este campo. La luz, descrita como la combinación de diferentes radiaciones electromagnéticas es esencial para el crecimiento de las plantas, no solo como fuente de energía, sino como fuente de información de sus alrededores. Esta percepción “visual” es posible gracias a unas proteínas fotosensibles (fotorreceptores), tales como los fitocromos por ejemplo, que permiten a las plantas sentir la dirección, cantidad, composición y duración de la luz que incide en ellas. Esa información controla en gran manera el comportamiento y el crecimiento en todas las fases del desarrollo de la planta. Sin embargo, hay importantes diferencias en como especies distintas, o incluso variedades dentro de la misma especie, reaccionan a la combinación de radiaciones luminosas que reciben. Esto se debe, igual que puede variar la percepción de los colores entre los humanos, a que cada planta contiene una combinación distinta de pigmentos que a su vez tienen una influencia diferente sobre la expresión génica y el metabolismo de la planta.

2. ÁREA DEL PROYECTO.

2.1. NATURALEZA DEL PROYECTO

El objeto del proyecto es el diseño de un sistema de control espectral en un invernadero ya construido perteneciente al Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino (ICVV) y situado en la Finca La Grajera, Logroño, La Rioja. La motivación de este proyecto son la inexistencia por el momento de un invernadero en una institución investigadora con un control lumínico básico en la región y la implicación de la universidad local y del gobierno regional para desarrollar la investigación agrícola pública en lo relacionado al estudio de la influencia de determinadas bandas del espectro electromagnético en el desarrollo de especies vegetales.

2.2. LOCALIZACIÓN

Las actuaciones que se describen en este Proyecto se localizan en el término municipal de Logroño, a 3 Km al oeste del núcleo urbano. El Invernadero se localiza en la Finca La Grajera, Autovía del Camino de Santiago LO-20 Salida 13, 26007 Logroño, La Rioja. Esta finca pertenece a la Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de La Rioja y sus instalaciones científicas pertenecen al Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino, un centro adscrito al Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España y la Universidad de La Rioja.

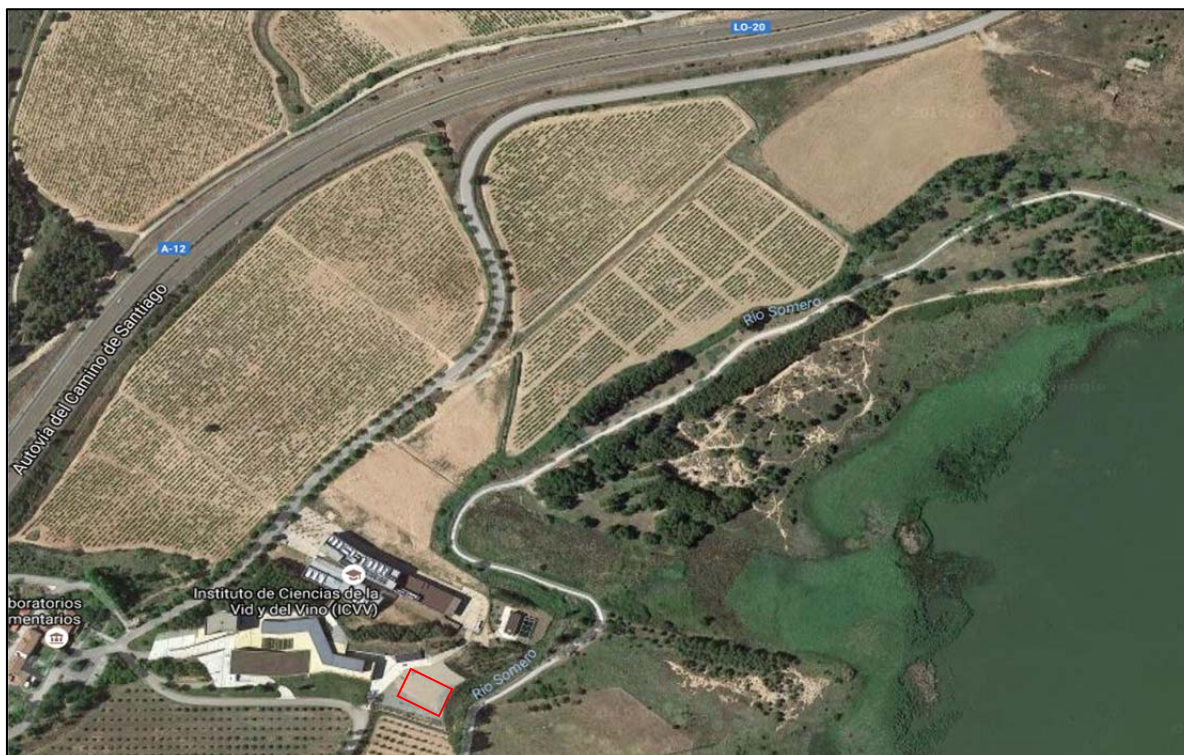


Imagen 4. Localización del invernadero. El cuadrado rojo representa la actual situación de la instalación ya que debido a su reciente construcción aún no aparece en los programas de información geográfica.



Imagen 5. Perspectiva del invernadero existente.

3. CONDICIONANTES

3.1. CONDICIONANTES DEL PROMOTOR

- La manipulación fiable de las radiaciones electromagnéticas que incidan en el cultivo.
- Ajustarse a las condiciones ya existentes en el invernadero.
- Implantación de dicho sistema sin que entorpezca el resto de los servicios que ofrece el invernadero al centro actualmente.
- Reducir el coste de instalación y mantenimiento del sistema mediante la optimización de los recursos materiales y personal necesarios.
- Fomentar una percepción de apuesta por la innovación puntera en el centro investigador para atraer inversiones y clientes.
- Capacidad de adaptación tanto para investigación como para docencia en las colaboraciones con la universidad.
- Un período de ejecución y puesta en marcha menor a los seis (6) meses desde el comienzo de las obras.

3.2. CRITERIOS DE VALOR DEL PROMOTOR

Estando este invernadero dedicado casi exclusivamente a la investigación sobre control espectral se deben primar tres aspectos fundamentales en el diseño:

- Versatilidad: los invernaderos típicamente comerciales se especializan en una producción homogénea de un único cultivo pero las investigaciones que financien y finalmente amorticen los métodos de control del espectro luminoso pueden ser infinitamente variadas respecto a la planta cultivada, tratamiento

luminoso, superficie utilizada, duración, fotoperiodo, etc. Se debe por tanto posibilitar la convivencia de todas las líneas de investigación en el espacio y en el tiempo sin que se afecten las unas a las otras.

- Seguridad: por razones parecidas a las que justifican la versatilidad del invernadero se debe garantizar la seguridad de las distintas líneas de investigación que estén trabajando en el invernadero. Existen infinitas amenazas que pueden arruinar meses de trabajo de investigación debido a contaminaciones, plagas y enfermedades, fallos de control, etc. Además, hay que asegurar la integridad personal y el confort de los trabajadores del invernadero durante su jornada laboral.
- Capacidad educativa: siendo un invernadero perteneciente a un centro de investigación relacionado estrechamente con la universidad local, no se debe perjudicar el desarrollo normal de las actividades lectivas, más allá de la investigación, que se desarrollen en el invernadero.

3.3. ANTECEDENTES

Anteriormente las instituciones científicas que actualmente promocionan el Proyecto desarrollaban investigaciones similares a las que se buscan ahora en un invernadero y laboratorios situados en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agroalimentario de La Rioja (CIDA) Ctra. NA-134 Logroño-Mendavia km 90. La Rioja. Sin embargo, la situación financiera y el desinterés de las autoridades pospusieron continuamente la actualización de las instalaciones, que finalmente se consideraron obsoletas y acabaron como en desuso o como almacenes.



Imagen 6. Estado del antiguo invernadero y la sala de trabajo para estudios para fotomorfogénesis y fotoperiodo.

4. SITUACIÓN ACTUAL

A pesar de que el invernadero se localiza en las proximidades del Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino, el uso del invernadero es compartido por varias instituciones científicas, como el Centro de Investigación en Desarrollo Tecnológico Agrario (CIDA) o la misma Universidad de La Rioja, con intereses más amplios que la enología y la viticultura. Por tanto, a pesar de que en el momento de la visita por el autor del proyecto solo se trabajaba con vid (*Vitis vinifera*), también se trabaja con otros cultivos de importancia en la horticultura local como son el tomate, el pimiento, flores, etc. Las instituciones promotoras ofrecen varios servicios a empresas u otras instituciones interesadas en realizar investigaciones en las instalaciones del invernadero. Algunos ejemplos de estos servicios son:

- Consejo sobre técnicas y procedimientos experimentales en cultivos.
- Trabajo con patógenos.
- Cuidado del cultivo desde siembra a cosecha.
- Aplicación de tratamientos.
- Almacenamiento de productos.
- Monitorización del cultivo.
- Toma y procesado de muestras.

El invernadero tiene una sección transversal a dos aguas denominada de gran amplitud, con unas dimensiones en total de 26 metros de largo por 12 de ancho y 4.6 m hasta la cumbrera. Las paredes laterales tienen una altura de 3 metros, contando de un zócalo de hormigón de 0.63 m de altura. El interior se encuentra dividido en un pasillo de 2 m de anchura, una sala de control de 10 m de largo por 4 de ancho y de cuatro cabinas de iguales dimensiones de 5.5 m de ancho por 10 m de largo donde se realizan los experimentos. La superficie del invernadero está recubierta por cristales transparentes en sus laterales y por translucidos en la parte superior para mejorar la distribución de luz solar.

En todos los compartimentos se pueden asegurar condiciones ambientales específicas de luz, humedad relativa, temperatura y fotoperiodo pero no de ninguna forma de control espectral. El invernadero ya cuenta con un básico sistema de iluminación suplementaria con luces de sodio de alta presión (Son-T Agro (400W, 100-150 W/m², Phillips, Rotterdam, Países Bajos) y luminarias marca LeuchTeck con grado de protección IP de 65 (Oststeinbek, Alemania). Se encuentran 24 lámparas por cabina. Además, se cuenta con una pantalla híbrida con funciones de sombreamiento y ahorro de energía (Svensson TEMPA 6965FR). Las cabinas y la sala de control cuentan con varios sistemas de ventilación con el exterior accionados por motores, uno cenital individual, otro general a través del pasillo y por ultimo uno mecánico con filtros a través de la pared situada al fondo de las cabinas.

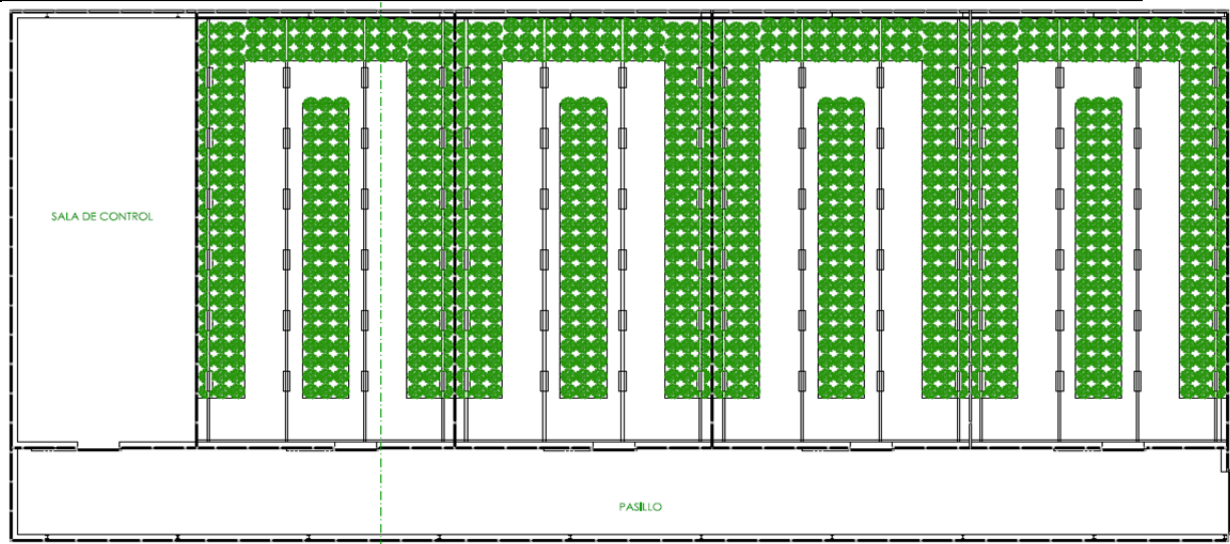


Imagen 7. Planta de la instalación actual de iluminación suplementaria en el invernadero.



Imagen 8. Interior de una cabina de experimentación. Se pueden apreciar el sistema de iluminación suplementaria actual y las pantallas de sombreado recogidas.

5. SITUACIÓN FUTURA SIN PROYECTO

Una no implantación a corto-medio plazo del proyecto conllevaría el peligro para el promotor de que otras instituciones logran implantar un sistema de control espectral en ese tiempo. En consecuencia, se perdería el liderazgo en el campo, la bolsa de posibles clientes e inversores interesados y se podría ser que se tuviera que alquilar las instalaciones de las instituciones que invirtieran en control espectral para llevar a cabo experimentos de las propias instituciones involucradas con el coste implícito en eso.

6. ANÁLISIS DAFO

Con el objetivo de formar una imagen global del escenario actual se exponen las características internas (fortalezas y debilidades) y externas (oportunidades y amenazas) expuestas anteriormente (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis DAFO. Elaboración propia

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la capacidad de control ambiental. • Mayor control de la morfología vegetal. • Nuevas posibilidades de investigación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión en I+D+i. • Ampliación de la oferta educativa de la universidad. • Aumento del prestigio de las instituciones involucradas. • Inexistencia de competencia ya asentada en el mercado.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Poca experiencia en el campo. • Incremento del gasto en mantenimiento. • Necesidad de una inversión pública inicial significativa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Futuras ofertas de servicios similares por otras instituciones.

7. TRABAJOS CONSULTADOS

- Baudoin, W., Nisen, A., Grafiadellis, M., Verlodt, H., Jiménez, R., De Villele, O., ... & Monteiro, A. «El cultivo protegido en clima mediterráneo. Medios y Técnicas de Producción. Suelo y Sustratos.» 143-182. FAO. Roma., 2002.
- Brazaitytė, A., Duchovskis, P., Urbonavičiūtė, A., Samuolienė, G., Jankauskienė, J., Sakalauskaitė, J., ... & Novičkovas, A. «The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants.» *Zemdirbyste-Agriculture*, 2010: 89-98.
- Canakci, M., and I. Akinci. «Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production." » *Energy* 31.8, 2006: 1243-1256.
- Chang, C. L., Hong, G. F., & Li, Y. L. « A supplementary lighting and regulatory scheme using a multi-wavelength light emitting diode module for greenhouse application.» *Lighting Research and Technology*, , 2014: 46(5), 548-566.
- Gómez, C., & Mitchell, C. A. «Growth Responses of Tomato Seedlings to Different Spectra of Supplemental Lighting. » *HortScience*, 2015: 50(1), 112-118.
- Hernández, J. C. L., & Parra, J. P. «Evolución de las estructuras de invernadero. , .» *Plasticulture: Revue du CIPA= Journal of CIPA*, 2006: (125), 8-17.
- Higashide, T., & Heuvelink, E. . «Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. » *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2009: 134(4), 460-465.
- Hogewoning, S. W., Douwstra, P., Trouwborst, G., Van Ieperen, W., & Harbinson, J. «An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra.» *Journal of experimental botany*, 2010: 61(5),1267-1276.
- Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., & Harbinson, J. « Blue light dose–responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light.» *Journal of experimental botany*, 2010: 61(11), 3107-3117.
- Jensen, Merle H., y Alan J. Malter. «Protected agriculture : a global review.» no. WTP 253. Washington, D.C. : The World Bank., 1995.
- Massa, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. « Plant productivity in response to LED lighting.» *HortScience*, 2008: 43(7), 1951-1956.
- Ménard, C., Dorais, M., Hovi, T., & Gosselin, A. « Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. » *InV International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture*. (2005, June). 711 (pp. 291-296).
- Montero, J. I. « Desarrollo de estructuras para invernaderos.» *Cuadernos de estudios agroalimentarios*, 2012: (3), 45-70.
- Morrow, R. C. «LED lighting in horticulture.» *HortScience*, 2008: 43(7), 1947-1950.
- Neil Mattson, Associate Professor and Floriculture Extension Specialist. «<http://www.greenhouse.cornell.edu/structures/factsheets/Greenhouse%20Lighting.pdf>» Mayo de 2016.
- Nurzyński, J. «Yield and quality of greenhouse tomato fruit grown in rape straw substrates.» 2013.
- Van Ieperen, W. «Plant morphological and developmental responses to light quality in a horticultural context.» *In VII International Symposium on Light in Horticultural Systems*. 2012. 956 (pp. 131-139).
- Van't Ooster, A., Heuvelink, E., Stanghellini, C., Van Henten, E. & Herdeman, F. *Greenhouse technology*. Wageningen University, 2015.
- Von Elsner, B., et al. «"Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union Countries, Part II: typical designs."» *Journal of agricultural engineering research* 75, n° 2 (2000): 111-126.
- Von Elsner, B., et al. «"Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I, design requirements."» *Journal of Agricultural Engineering Research* 75, n° 1 (2000): 1-16.
- Watanabe, H. «Light-controlled plant cultivation system in Japan-development of a vegetable factory using LEDs as a light source for plants.» *In VI International Symposium on Light in Horticulture*. 2009. 907 (pp. 37-44).
- Yeh, N., & Chung, J. P. «High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation.» . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009: 13(8), 2175-2180.

ANEJO Nº 2.- SISTEMAS DE ILUMINACIÓN Y CAPTACIÓN SOLAR

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. DESARROLLO ACTUAL	2
3. DIFERENCIAS EN UNIDADES LUMÍNICAS.....	6
4. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DISPONIBLE.....	7
4.1. Iluminación suplementaria	7
4.2. Lámparas incandescentes.	7
4.2.1. Fluorescentes (FT)	7
4.2.2. Descarga de alta intensidad.....	8
4.2.3. LED.....	8
4.2.4. OLEDs	9
4.3. Mallas	10
4.3.1. Mallas de oscurecimiento.	10
4.3.2. Mallas de sombreo.....	10
4.3.3. Mallas de ahorro de energía.....	11
4.4. Cubierta del invernadero.....	12
4.4.1. Películas luminiscentes o fluorescentes	12
4.4.2. Cristales dicroicos	12
4.5. Filtros líquidos	13
4.6. Casos con filtración natural.....	14
5. OBJETIVO DEL PROYECTO	14
6. CONDICIONANTES DEL PROMOTOR	15
7. ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS.....	15
BIBLIOGRAFÍA	17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos en plantas de distintas bandas del espectro de radiación	5
Tabla 2 Comparativa de unidades entre radiación percibida por humanos y plantas.	6
Tabla 3. Equivalencias entre PPF y luxes dados por varias fuentes distintas.	7
Tabla 4. Comparación de diversas lámparas de invernadero.....	9
Tabla 5. Alternativas estratégicas y tácticas.....	16

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Espectro de absorción de diferentes pigmentos vegetales	3
Imagen 3. Ejemplo de malla de oscurecimiento.....	11
Imagen 4. Malla de sombre o ‘‘shade net’’ coloreada para mejora de la calidad luminosa.	11
Imagen 5. Cubierta fluorescente extendida encima la cubierta normal de plástico de un invernadero.....	12
Imagen 6. Funcionamiento de los filtros dicróico. El tamaño de los poros del filtro marca la longitud de onda que a la que se permite atravesarlo.	13
Imagen 7. Esquema de un filtro espectral líquido.	14

1. INTRODUCCIÓN

La horticultura moderna está investigando como las plantas reaccionan a variables luminosas como la dirección, cantidad (PPF, photosynthetic photon flux), calidad (según la longitud de onda) o el tiempo de iluminación continuo al día) (Ouzounis *et al.*, 2015). Toda esa información del ambiente se usa en los siguientes procesos:

- Fotosíntesis. Es la reacción en los cloroplastos que resulta en la obtención de energía química a partir de la radiación luminosa, carbono atmosférico y agua.
- Control de temperatura y pérdida de agua. La radiación que incide en la planta y no es usada para la fotosíntesis podría ocasionar un incremento de temperatura de la planta que causara daños en su superficie. Para remediar esto, las plantas evaporan agua a través de las hojas para enfriarse y ayudar en el transporte de sustancias desde las raíces.
- Fotoperiodo. Está influenciado directamente por los rangos rojo y rojo lejano del espectro electromagnético y la alternancia de los modos día y noche del fitocromo. Permite a la planta conocer la duración del día y en qué momento del mismo se halla. Ayuda a regular las etapas del desarrollo vegetal según la estación del año. Un tipo de respuesta al fotoperiodo sirve para clasificar a las distintas especies según cuando florecen: de día largo, día corto o día neutral.
- Fotomorfogenesis. Es el efecto de las distintas radiaciones en el desarrollo de la forma, tamaño o la apariencia de la planta.
- Fototropismo. Es la capacidad para orientar el crecimiento en la dirección de los recursos necesarios.
- Fotodormición. Es la inhibición de la germinación que acontece en algunas especies de semillas hasta que se encuentran en unas condiciones luminosas específicas.

Los avances en este campo se podrían aplicar luego para mejorar la morfología de los cultivos y adecuar la iluminación a sus necesidades en cada momento. Por ejemplo, se podría buscar aumentar la velocidad de germinación, intensificar el crecimiento de las partes vegetativas comestibles, mejorar el valor nutricional, etc. Eliminando la emisión en bandas no deseables se ahorra energía además de reducir comportamientos indeseables en el cultivo. Sin embargo, este campo estaba restringido antes debido a que las lámparas normalmente usadas como iluminación suplementaria emiten en un espectro amplio, pero fijo. En concreto, las HPS tienen su pico de radiación alrededor de una longitud de onda de 589 nm dentro del rango del color amarillo, que no solo no potencia sino que puede llegar a ser desventajosa para la producción de ciertos cultivos (Brazaitytė 2010).

2. DESARROLLO ACTUAL

La situación del campo de la iluminación artificial en invernaderos ha cambiado recientemente con la invención, desarrollo y comercialización de los LEDs (Light Emitting Diodes). La bibliografía señala que el mayor crecimiento vegetal se produce

bajo la combinación de luz roja (600-700nm) y azul (420-450), ya que estas longitudes de onda se corresponden con los picos de absorción del principal (pero no único) pigmento fotosintético, la clorofila (*Imagen 1*). Esos picos se sitúan en 665 nm y 430 nm para la clorofila a y 642nm y 430 nm para la clorofila b (T. (-,-o. Ouzounis 2014). Aparte de la clorofilas, existen otros pigmentos (antocianinas, carotenoides) capaces de aprovechar la luz en esas longitudes de onda.

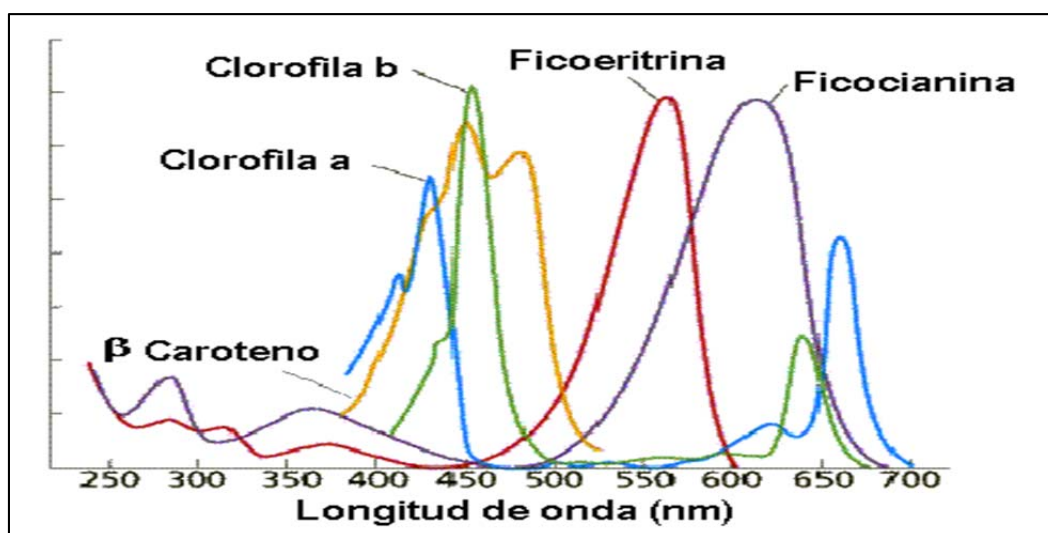


Imagen 1. Espectro de absorción de diferentes pigmentos vegetales

A pesar de que el rojo y el azul son los principales agentes en el metabolismo fotosintético y en la fotomorfogénesis, otras radiaciones menos eficientes también juegan un papel importante dando información sobre el alrededor de la planta y por tanto desencadenando distintas respuestas en ella. Algunos ejemplos sobre los efectos de las distintas radiaciones están recogidos a continuación:

Luz roja

Las plantas que reciben luz del rango del rojo (600-700nm) tienen un peso seco y fresco mayores que aquellas que carecen de ella. La luz roja es la más eficiente cuánticamente (ratio de electrones incidentes/electrones excitados en la hoja) (S. W. Hogewoning 2012). Los fitocromos en las células vegetales interactúan sobre todo con la luz de este color. Si la relación luz azul/rojo es insuficiente (<10%), puede producirse un aumento excesivo del tallo y un amarilleamiento de las hojas (Chang *et al*, 2013).

Luz azul

La bibliografía indica que la longitud de onda entre 400 y 500 nm interactúa con fotorreceptores como los criptocromos y las fototropinas y promueve la síntesis de clorofila, potenciando la fotosíntesis. Se considera que la luz azul controla el fototropismo, el ritmo circadiano y promueve la apertura de los estomas (Frechilla *et al.*, 1999). Además, si se añade la luz azul a cualquier otro espectro luminoso, las plantas incrementan la materia seca, producen más semillas y estas semillas germinan

en mayor número. Otras consecuencias morfológicas destacables de la luz azul son la inhibición del alargamiento del hipocotilo (parte subterránea del tallo principal) y el desarrollo de hojas con una mayor masa por unidad de superficie y mayor capacidad fotosintética (Hogewoning *et al.*, 2010 B).

Luz verde

La bibliografía consultada muestra una gran dependencia de la variedad de plantas estudiadas en los efectos de la luz verde (alrededor de 540nm). Por una parte, algunos estudios concluyen que si la luz verde alcanza el 50% de la radiación total puede disminuir el crecimiento de algunas especies y promover el de otras si se encuentra por debajo del 24% del total (Massa *et al.*, 2010). Por otra parte, otros estudios obtuvieron que la luz verde influye en la formación de caroteno y promueve el metabolismo de nitratos y carbohidratos, pero sin afectar al crecimiento significativamente (Chang *et al.*, 2013).

Rojo lejano (Far-Red)

Las longitudes de onda con una baja relación luz roja/rojo lejano se considera que causan etiolación (desarrollo de tallos débiles y pálidos con entrenudos muy largos). Usualmente estos efectos se muestran en plantas sombreadas o que crecen en la oscuridad y tratan de alcanzar la luz por encima de la vegetación circundante (Hogewoning *et al.*, 2010 A). Una alta relación R/FR causa el efecto opuesto, acortando los entrenudos de las plantas.

Ultravioleta


Se divide en UV-A, UV-B y UV-C. Esta última es la más perjudicial a la vida y no se encuentra en la Tierra debido a que es absorbida en la atmósfera por las moléculas de oxígeno y ozono. Los LEDs que emiten en este rango están aún en desarrollo para intentar incrementar la emisión de radiación.

- Ultravioleta A. Comprende la región entre 320 y 400 nm. Se descubrió que ayuda a prevenir intumescencias y tumores en plantas que crecen en ambientes protegidos. (Morrow & Tibbits, 1988).
- Ultravioleta B. Su longitud de onda se encuentra entre los 290 y los 320 nm. El ozono la absorbe parcialmente en la atmósfera pero aún es capaz de causar problemas en la piel. Puede jugar un papel importante en mejorar la defensa contra patógenos mediante la manipulación de algunos fenoles del metabolismo secundario o aumentar el valor nutritivo de algunas hortalizas (Morrow, 2008), aunque es mayormente absorbida por los flavonoides para prevenir daño (Ouzounis, 2014).

Luz amarilla

La luz de este color (560-600nm) en grandes cantidades causa una elongación del hipocotilo y una menor área foliar (Brazaitytė 2010). En varios artículos se equiparan sus efectos a los de la luz roja.

Tabla 1. Efectos en plantas de distintas bandas del espectro de radiación.

Color	Rango del espectro (nm)	Efectos
Ultravioleta	290-400	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención de intumescencias • Defensa contra patógenos • Manipulación de metabolismo secundario
Azul	400-500	 <ul style="list-style-type: none"> • Promueve la síntesis de clorofila • Apertura de estomas • Control de ritmos circadianos • Control fototropismo • Interacción con criptocromos y fototropinas • Inhibición alargamiento hipocotilo • Aumento de materia seca y producción de semillas • Aumento ratio de germinación
Verde	500-560	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuye crecimiento si ocupa una gran proporción de la radiación • Creación de carotenos • Promueve metabolismo de carbohidratos y nitratos
Rojo	600-700	<ul style="list-style-type: none"> • Elongación de los internudos • Incremento masa seca en tallo y hojas • Tiene la mayor eficiencia en conversión de energía • Relación con el rojo lejano para medir fotoperiodos
Rojo lejano	700-740	<ul style="list-style-type: none"> • Etiolación • Control fotoperiodo

3. DIFERENCIAS EN UNIDADES LUMÍNICAS

Hay grandes diferencias entre los humanos y las plantas respecto a la forma en la que se mide la radiación luminosa percibida ya que estas unidades se basan en la sensibilidad que cada especie tiene para los distintos espectros. El ojo humano tiene un pico de sensibilidad en los 555nm de longitud de onda, mientras que la clorofila lo tiene alrededor de los 430 nm (Hershey 1991), por tanto una radiación con una longitud de onda de 430 nm sería una fuente eficiente de energía para la fotosíntesis pero una fuente de iluminación mediocre para los humanos. Entender bien esta diferencia es importante para ser capaces de comparar los distintos modos de control espectral existentes.

Generalmente para los humanos, el flujo luminoso (acorde al Sistema Internacional) se mide en lúmenes (potencia luminosa emitida), y la iluminancia o potencia luminosa que llega a una superficie se mide en luxes (lúmenes/m²).

Sin embargo, para las plantas existen varias formas de medir las mismas magnitudes. El flujo se puede medir PPF (Photosynthetic Photon Flux), es decir el número de fotones emitidos por segundo dentro del rango de la PAR (Photosynthetic Active Radiation). Mientras que la luz que reciben por unidad de superficie se mide con la densidad de flujo de fotones fotosintéticamente activos (PPFD, Photosynthetic Photon Flux Density), cuyas unidades son micromoles por segundo metro cuadrado (μmol/s-m²) (Tabla 2). También es común ver los requisitos de luz para una planta en mW/m², de esta manera se puede expresar la cantidad exacta de energía en el espectro visible que se recibe por unidad de superficie. Otra unidad importante en producción vegetal es la DLI (Daily light integral) que es la suma de toda la PAR recibida durante 24 horas; sus unidades son mol/m² día).

Tabla 2 Comparativa de unidades entre radiación percibida por humanos y plantas.

	Luz para humanos	Unidades	Luz para plantas	Unidades
Potencia radiante	Flujo luminoso	Lumen	PPF-PAR	μmol/s
Luz incidente por superficie	Iluminancia	Lux	PPFD	μmol/s-m²

Debido a la necesidad de hallar las relaciones entre las distintas unidades para combinar de algún modo los distintos sistemas de unidades entre el ámbito de producción vegetal y el resto se han creado tablas de factores de conversión (Tabla 3). Para convertir las unidades hay que tener en cuenta el espectro de emisión de cada fuente para calcular la suma total de fotones por longitud de onda.

Tabla 3. Equivalencias entre PPF y luxes dados por varias fuentes distintas.

PPF ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Lux (Sunlight)	Lux (HPS)	Lux (Metal Halide)	Lux (Fluorescent)
10	540	820	710	740
10	540	820	710	740
100	5400	8200	7100	7400
200	10,800	16,400	14,200	14,800
300	16,200	24,600	21,300	22,200
600	32,400	49,200	42,600	44,400
1000	54,000	82,000	71,000	74,000
2000	108,000	164,000	142,000	148,000

<http://www.apogeeinstruments.com/conversion-ppf-to-lux/>

4. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DISPONIBLE

4.1. ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIA

Su objetivo es incrementar el flujo recibido por el cultivo para optimizar la producción. Los aspectos más importantes a considerar a la hora de elegir que lámparas y complementos utilizar son: si el sistema se va a funcionar como suplementación o sustitución de la luz solar; los ciclos de apagado y encendido de las luces; el coste de compra, instalación, funcionamiento y mantenimiento; las características del fotoperiodo del cultivo; los requisitos ambientales de las plantas; la cantidad y tiempo de irradiación y la composición espectral de la luz emitida.

4.2. LÁMPARAS INCANDESCENTES.

Tienen una instalación y mantenimiento barato debido que no necesitan muchos complementos. Sin embargo gran parte de la energía consumida se transforma en infrarroja con el peligro de quemar las plantas y solo el 6-12% de la energía consumida se transforma en luz visible. Tienen una vida útil muy corta pero se siguen utilizando para controlar el fotoperiodo ya que no se necesita mucha luz para influir en él.

4.2.1. FLUORESCENTES (FT)

Se utilizan principalmente para la germinación de semillas o en sistemas en capas (plant factories). Tienen más del doble de eficiencia de conversión de energía que las incandescentes y hasta 6 veces más vida útil. Tienen una superficie de emisión bastante grande que además emite poco calor, pudiendo ser instaladas cerca de las plantas. Sin

embargo necesitan complementos para funcionar (balasto) y el tamaño de las luminarias causa demasiada sombra para utilizarse como luz suplementaria en un invernadero.

4.2.2. DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD.

En general comparten como características una larga vida útil y una alta eficacia (30%). Al igual que las fluorescentes también necesitan de un balasto para limitar la corriente eléctrica pero se instalan en luminarias más pequeñas que sombrean menos. Principalmente se usan dos tipos de estas lámparas, las de halogenuros metálicos (HPI) y las de sodio de alta presión (HPS). Las primeras tienen una buena composición espectral y una alta eficiencia que les hace adecuadas para su uso en invernaderos, sin embargo la mayor vida útil y una aun mayor eficiencia energética (a pesar de la falta de luz) hace a las HPS las más extendidas actualmente en invernaderos. Para solucionar las respectivas carencias en el espectro se pueden combinar ambos tipos en la misma instalación. Otra desventaja importante es el alto calor que irradian y que limita la proximidad a la planta a la que se pueden disponer.

4.2.3. LED.

Las lámparas LEDs pertenecen a la llamada “iluminación de estado sólido” (SSL por sus siglas en inglés), esto se debe a que la luz es emitida por un semiconductor que es un objeto sólido, sin intervención de gases como las lámparas anteriores. Estos pequeños dispositivos están formados por un chip de un material semiconductor con impurezas y emiten en un estrecho espectro de emisión. Su funcionamiento se basa en un paso cruzado por una corriente unidireccional de electrones. Al saltar esta sinapsis, los electrones caen a un nivel energético inferior y emiten la diferencia de energía causada por las impurezas en forma de luz, ya que el color (la longitud de onda) está condicionada por la diferencia de energía (Yeh 2009). De esta manera, controlando la composición del material del diodo, los LEDs permiten la selección de una estrecha banda del espectro electromagnético, y mediante la combinación de varios LEDs se permite el control espectral (Van Ieperen 2012), pero esta no es su única ventaja. En comparación con las HPS y las FT los LEDs producen muy poco calor radiante, permitiendo la instalación de las lámparas mucho más cerca de la planta sin quemarla, unos tiempos de encendido y reencendido inapreciables, una vida útil con varias decenas de miles de horas por encima, menos peligro gracias a la ausencia de cristal y gases tóxicos o contaminantes, un riesgo de incendios o quemaduras más pequeño o una cantidad de radiación proporcional a la potencia consumida (R. C. Morrow 2008). Estas características hacen posible instalar LEDs cerca del follaje o ajustar la luz emitida de acuerdo con la sensibilidad de los fotorreceptores, adecuando la energía consumida al momento, lugar y cantidad necesarias; y de esta manera ahorrar dinero (Gómez *et al.*, 2010). A pesar de esto, las FTs y las HPS son aún los únicos sistemas de lámparas extendidas en los invernaderos para producción, principalmente debido al elevado precio y al relativamente complejo conocimiento técnico necesario para la producción e instalación de paneles de luces LED. Este problema es especialmente importante en el

caso de las longitudes de onda más energéticas y cortas, las luces ultravioleta y azules. Por otra parte, en los últimos años se han hecho grandes mejoras técnicas, facilitando cada año la producción de instalaciones LEDs más grandes a un precio menor y con mejor rendimiento. Como resultado de este proceso, se ha previsto que los LEDs dejarán de limitarse a la investigación a pequeña escala para convertirse en el sistema de iluminación principal de la horticultura.

Siguiendo este camino se encuentran varias líneas de investigación con el objetivo de mejorar las “fábricas de plantas” (plant factories). Este tipo de explotaciones surgieron en Japón en la década de los 90. En ellas se prescinde de la luz solar y se utilizaban tubos fluorescentes durante las primeras fases del desarrollo de la planta antes de que fuera trasplantada. Sin embargo en la mayor parte de las nuevas plant factories los LEDs son el único sistema de iluminación, permitiendo un control aun mayor de la fotomorfología vegetal en el ambiente productivo (Watanabe 2009).

Tabla 4. Comparación de diversas lámparas de invernadero

Lámpara	Incandescentes	Fluorescentes	HPS	HID	LED
Vida útil (h)	1000	7500	25000	15000	25000-50000
Calor radiante					
Coste compra					
Espectro de emisión					
Sombra					
Gasto eléctrico					
Usos	Fotoperiodo	Fotoperiodo Fotosíntesis	Fotoperiodo Fotosíntesis	Fotosíntesis	Fotoperiodo Fotosíntesis

La tabla superior compara distintas características de las lámparas según su idoneidad para el uso en invernaderos. El color verde indica una buena correlación, el azul un valor medio y el marrón una desventaja en esa cualidad. Por ejemplo, las lámparas incandescentes presentan demasiado calor radiante y consumo eléctrico, un espectro y un sombreamiento promedio mientras que el coste de compra es muy barato.

4.2.4. OLEDs

Estos dispositivos (diodos orgánicos emisores de luz por sus siglas en inglés) están formados por una capa de componentes orgánicos que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica. Son diodos que han evolucionado en los últimos años de los

LEDs (también denominados ahora ILEDs por ser inorgánicos) y forman parte de la iluminación de estado sólido. Su mejor avance para su uso en horticultura es la mejora de la difusividad de la luz y la versatilidad de la instalación al ser dispositivos muy flexibles en forma de capa (thin films). Sin embargo existen importantes problemas para su comercialización: la fragilidad de los OLEDs hace necesario encapsularlos para protegerlos de factores ambientales y alargar su vida útil (Martin Ramos 2010), aumentando mucho el precio y hundiendo su competitividad. Aunque hay algunas multinacionales fabricando prototipos, su uso se limita por el momento principalmente a televisores y algunos aparatos de iluminación sin relación con la horticultura. Sin embargo los foros relacionados con la iluminación avisan que de seguir con los avances que se están realizando, los OLEDs pronto se perfilarán como sustitutos de los LEDs en todos los campos.

4.3. MALLAS

Estos dispositivos son pantallas móviles situadas entre la cubierta y la iluminación suplementaria si la hubiese y si corresponde, sobre las paredes y la propia cubierta del invernadero. Al contrario que la iluminación suplementaria por lámparas, se consideran dispositivos pasivos porque solo necesitan electricidad para desplegarse o recogerse. Su objetivo es interferir en el paso de la radiación entrante o saliente del invernadero mediante la absorción o el reflejo (parcial o total) de la misma. Hay tres tipos de mallas según su propósito, que físicamente se diferencian en la composición y la estructura del tejido utilizado. Estas mallas pueden combinarse instalando varias pantallas a diversas alturas o hacerse híbridas juntando varios tipos de tejido para que la misma malla sirva para diversas funciones.

4.3.1. MALLAS DE OSCURECIMIENTO.

Con este tipo se busca que casi nada o nada de la radiación solar llegue al cultivo en caso de que se esté aplicando un tratamiento de fotoperiodo de día corto. Se usan mallas casi opacas o aluminadas (Imagen 2).

4.3.2. MALLAS DE SOMBREO.

Originalmente se usaban mallas negras agujereadas con el objetivo de prevenir el estrés en las plantas por calor o pérdida de agua en los días de verano mediante la reducción de la radiación solar que incide en el cultivo. Sin embargo, en los últimos años se ha visto que las mallas coloreadas causan un cambio en la composición espectral al absorber preferentemente el color complementario al de la propia malla (Imagen 3) (Rodríguez Beraud 2015). De este modo se puede promover ciertas características morfológicas reguladas por la luz al elegir el color de la malla. La magnitud del cambio espectral depende del porcentaje de radiación solar que se intercepta (coeficiente de sombreo). Según el material (plástico o aluminado) y la forma de los agujeros de la malla se puede influir en otros factores tales como la difusividad de

la luz o el intercambio de calor entre el cultivo y la cubierta (Partida-Ruvalcaba, y otros 2011).



Imagen 2. Ejemplo de malla de oscurecimiento.



Imagen 3. Malla de sombre o “shade net” coloreada para mejora de la calidad luminosa.

<http://www.freshplaza.com/article/123084/The-benefits-of-using-different-coloured-shading-nets>

4.3.3. MALLAS DE AHORRO DE ENERGÍA.

Son mallas totalmente aluminadas que se extienden durante la noche para evitar la pérdida de calor a la cubierta y de ahí a la atmósfera. También se usan cuando se

enciende la iluminación suplementaria durante la noche para evitar contaminación lumínica y redirigir la radiación hacia el cultivo.

4.4. CUBIERTA DEL INVERNADERO

4.4.1. PELÍCULAS LUMINISCENTES O FLUORESCENTES

Son películas plásticas con partículas fluorescentes fotoselectivas que absorben las longitudes de onda poco útiles para la planta (ultravioleta y verde) y emiten en longitudes de onda más aprovechables (roja y azul principalmente). De esta forma se logra tanto evitar posibles efectos perjudiciales de esos rangos del espectro como mejorar la calidad de la radiación intensificando la radiación alrededor de longitudes de onda beneficiosas. También pueden incrementar la difusividad de la luz y favorecer su penetración en el follaje del cultivo. Su desventaja principal es su uso casi limitado actualmente a invernaderos de plástico por los problemas que causa con la condensación y la ventilación. Existen otras películas especializadas en bloquear o transmitir la radiación infrarroja (antitérmicas y ultratérmicas respectivamente) con el objetivo de regular la temperatura del invernadero. Merecen mencionarse también las películas que bloquean el ultravioleta (290-380 nm) y que se usan para tratar plagas transmitidas por insectos. Por último, a falta de una sección dedicada a ellos, se incluyen los acolchados, filmes plásticos que se colocan cubriendo el espacio entre las plantas o el terreno para reflejar las longitudes de onda que interesen desde el suelo hacia las hojas.



Imagen 4. Cubierta fluorescente extendida encima la cubierta normal de plástico de un invernadero.
<http://www.hortidaily.com/article/1704/Photoluminescent-plastic-shifts-sunlight-to-increase-crop-yields>

4.4.2. CRISTALES DICROICOS

Constituyen unos novedosos filtros capaces de reflejar la luz hasta una longitud de onda determinada y transmitir la que posea una longitud de onda más larga. Se fabrican

en cámaras de vacío donde se inyectan óxidos metálicos vaporizados y que al entrar en contacto con placas de vidrio empiezan a precipitarse sobre su superficie, formando unas láminas que funcionan como espejos. Los huecos entre las deposiciones metálicas constituyen unos poros cuyo tamaño marca la longitud de onda que será capaz de cruzar el vidrio, mientras que la que no traspasa el filtro es reflejada por las láminas espejo. A más tiempo en la cámara de vacío, menores serán los poros y por tanto solo radiaciones con longitudes de onda cada vez más largas podrán cruzar. Las mayores desventajas son su alto precio inicial, la fragilidad del filtro y la dependencia del ángulo de la luz incidente para cruzar los poros. La alta inversión necesaria limita actualmente su uso solo a la arquitectura de diseño pero se espera que una vez se normalice se aplique a mas campos, incluyendo la agricultura protegida.

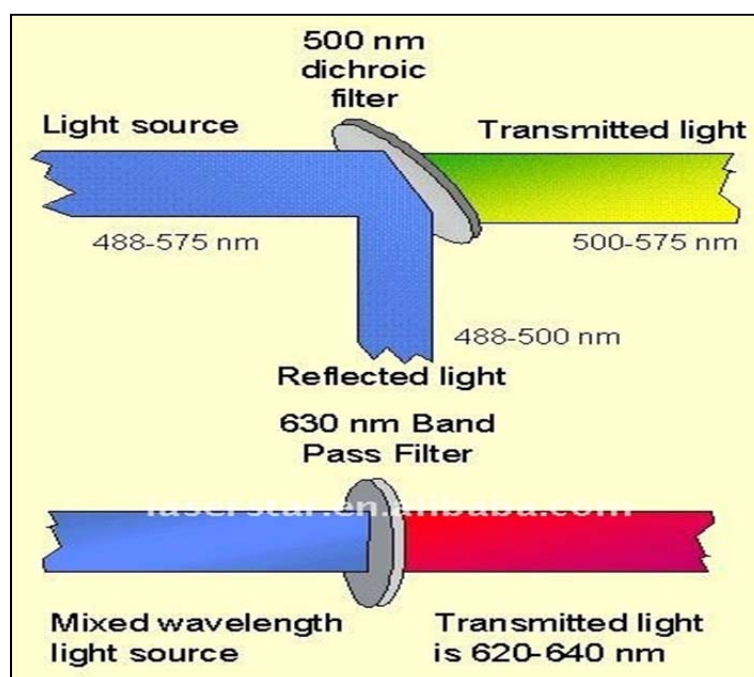


Imagen 5. Funcionamiento de los filtros dicroico. El tamaño de los poros del filtro marca la longitud de onda que a la que se permite atravesarlo.

4.5. FILTROS LÍQUIDOS

Su funcionamiento se basa en la capacidad de distintas soluciones acuosas que se mantienen sobre la cubierta del invernadero de absorber longitudes de onda específicas y dejar cruzar otras (González s.f.). Algunos ejemplos de soluciones estudiadas son sulfato de cobre, cloruro de cobre o sulfato de níquel en distintas disoluciones (del 0.1% al 1%) con agua destilada. El líquido puede disponerse al aire libre sobre la cubierta de la estructura o en forma de lámina o canales entre dos cubiertas plásticas rígidas. En el caso del CuSO_4 en disolución se han logrado resultados como la reducción de la altura del cultivo debido a la absorción de las radiaciones con efecto de elongación de los internodos, y aumento de la clorofila en las hojas (Rajapakse 1999). Si se utiliza agua como filtro se permite pasar casi toda la radiación PAR mientras que

se absorbe toda la infrarroja, evitando tener que refrigerar el invernadero. Otro beneficio de este tipo de filtro es la difusión de la radiación que entra al invernadero, lo que permite una distribución más homogénea de la luz que se recibe en distintas alturas del follaje. Es especialmente indicada para zonas cálidas tropicales con mucha luz y mucha necesidad de ventilación, ya que su mayor contrapartida es la reducción de intensidad luminosa que llega a la planta. Por estas cualidades se le utiliza especialmente en el equivalente al invernadero (cultivar plantas de verano en invierno) en estas zonas, denominado en español “veranero” (donde se cultivan plantas con intolerancia al calor en verano).

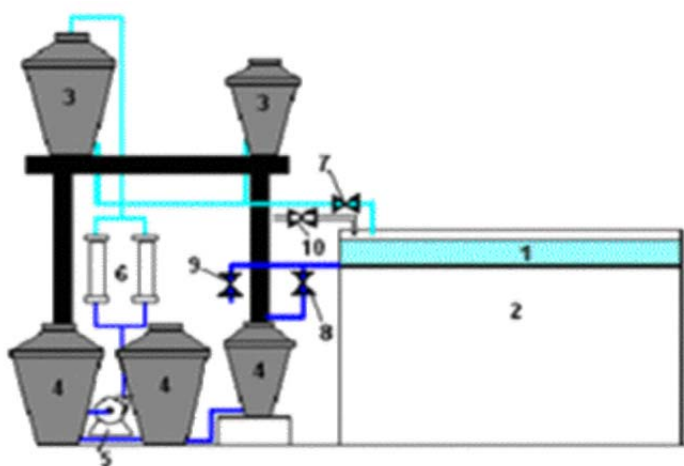


Imagen 6. Esquema de un filtro espectral líquido.

<http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/Ecosolar/Ecosolar09/HTML/articulo02.htm>

4.6. CASOS CON FILTRACIÓN NATURAL

No son una tecnología propiamente dicha, aunque conviene tenerlos en cuenta por su influencia en el diseño de sistemas de control espectral. El espectro de la radiación solar sufre muchas transformaciones desde su origen a la superficie de la planta. La atmosfera retiene gran parte de los rangos más energéticos (principalmente UV), que son re-emitidas en rangos menos energéticos (infrarrojo y visible); y otro gran porcentaje de hasta el 30% nunca toca la superficie terrestre y se refleja en nubes y partículas en suspensión de vuelta al espacio. El ángulo de incidencia de la luz solar que hay en el amanecer y en el ocaso también causa variaciones, en el primer caso se aumenta la luz azul y roja mientras que en el segundo se aumenta el rojo lejano. También se produce una filtración natural del rojo a través del follaje de la planta mientras que esto no sucede con el rojo lejano. Esto causa que el ratio R/FR no sea el mismo en la parte superior que en la inferior de la planta.

5. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es la creación e implantación del primer sistema de control espectral en un invernadero de investigación en una institución científica pública

como es el situado en el Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino. El interés del promotor es que el uso de éste sistema de control espectral posibilite la emisión de bandas del espectro electromagnético en concreto. Al implementar dicho sistema en un invernadero de investigación se permite determinar cuáles son los efectos de dichos rangos cuando se presentan solos o combinados de manera específica en los cultivos. Con este conocimiento sería posible más tarde promover o eliminar ciertos comportamientos morfológicos en invernaderos comerciales que resulten en un aumento de competitividad para las empresas.

6. CONDICIONANTES DEL PROMOTOR

El promotor, el conjunto de instituciones científicas que comparten el uso del invernadero, desea un sistema de control espectral versátil que no entorpezca los servicios (investigaciones propias, alquiler para servicios a sociedades privadas o el uso del mismo para educación) que ofrece el invernadero en la actualidad. Tiene que ser un sistema preciso para asegurar la exactitud de las conclusiones de las investigaciones, además de seguro y fiable para no arriesgar el trabajo hecho en accidentes. Tiene que ajustarse a las dimensiones y características del invernadero ya construido. Además, tiene que evitar ser un sistema con redundancias que encarezcan la implementación proyecto sin proporcionar un servicio adicional en la explotación del invernadero.

7. ALTERNATIVAS ESTRATÉGICAS

Las alternativas consideradas deben tener en cuenta los condicionantes del promotor así como la legislación vigente en los ámbitos de actuación de este proyecto. Sobre estas necesidades se consideran varias opciones de entre las tecnologías explicadas anteriormente según la capacidad de control espectral que se desea y su capacidad de combinarse con los dispositivos relacionados que ya se encuentran instalados.

Prestando atención en los requisitos enunciados anteriormente y al resumen de la tecnología existente se puede deducir que solo existe un único tipo de instalación que asegure el objetivo del proyecto. La iluminación suplementaria que no sea dispositivos LED tiene espectros de emisión fijos y por tanto imposibles de manipular, además de que ya se dispone de un sistema por lámparas HPS. Los OLED podrían ser una opción en el futuro pero en la actualidad, además de un precio desorbitado, no se cuentan con garantías suficientes. Los métodos pasivos (mallas y filtros) serían directamente inadaptables en algunos casos o muy complejos y costosos de instalar y en general serían dependientes de la radiación solar.

Por tanto, se concluye que solo hay dos verdaderas alternativas:

- Alternativa cero o no actuación. De esta forma no se intervendría en el invernadero al ser imposible encontrar una manera de implementar un sistema de control espectral que se adecue a sus características.
- Sistema de iluminación LED en el interior del invernadero. Para aumentar la versatilidad se decide instalar las luces en dos disposiciones de matrices, una horizontal por encima de las plantas y otra entre las plantas.

Tabla 5. Alternativas estratégicas

		Iluminación	
		CON	SIN
Control espectral	CON	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación LED • OLEDs 	<ul style="list-style-type: none"> • Mallas coloreadas • Cristales dicróicos • Filtros líquidos • Películas luminiscentes
	SIN	<ul style="list-style-type: none"> • HPS • FT • Lámparas incandescentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Alternativa cero.

Considerando la implantación de un sistema de iluminación LED, el proyectista se decanta por mantener las lámparas HPS e instalar una doble disposición (una superior y otra entre las plantas) de módulos que si bien originalmente son para producción comercial LED han sido adaptados por la casa comercial para tener distintos porcentajes de luz roja y azul. Hay que señalar que si bien se puede reducir la mayor parte de la radiación solar incidente, sería muy difícil eliminarla completamente en las instalaciones actuales del invernadero. Esto implica que no se podría crear ambientes totalmente controlados donde se puedan estudiar los efectos de las longitudes de onda secundarias (verde, amarillo, naranja). Por tanto, es más interesante para el promotor centrarse en estudiar cómo distintas proporciones de las principales bandas del espectro fotosintéticamente activas (roja y azul) influyen en el comportamiento vegetal. Estas investigaciones serían muy útiles de cara a diseñar combinaciones de sistemas de iluminación mixtos HPS y LED (interiores y/o superiores), y de esta forma, obtener instalaciones que aprovechen las fortalezas de cada tipo de lámpara.

Tras contactar con varias compañías productoras de módulos LED (Hortilux, Sylvania, Philips, Panasonic, etc) el proyectista se decide por los modelos GreenPower LED toplighting y interlighting modificados para proporcionar luz con un alto porcentaje de azul.

BIBLIOGRAFÍA

- Baixauli Soria, C., & Aguilar Olivert, J. M. *Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias*. (No. C057. 013)., 2002.
- Baudoin, W., Nisen, A., Grafiadellis, M., Verlodt, H., Jiménez, R., De Villele, O., ... & Monteiro, A. «El cultivo protegido en clima mediterráneo. Medios y Técnicas de Producción. Suelo y Sustratos.» 143-182. FAO. Roma., 2002.
- Brazaitytė, A., Duchovskis, P., Urbonavičiūtė, A., Samuolienė, G., Jankauskienė, J., Sakalauskaitė, J., ... & Novičkovas, A. «The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants.» *Zemdirbyste-Agriculture*, 2010: 89-98.
- Canakci, M., and I. Akinci. «Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production." » *Energy* 31.8, 2006: 1243-1256.
- Chang, C. L., Hong, G. F., & Li, Y. L. « A supplementary lighting and regulatory scheme using a multi-wavelength light emitting diode module for greenhouse application.» *Lighting Research and Technology*, , 2014: 46(5), 548-566.
- Frechilla, S., Zhu, J., Talbott, L.D. and Zeiger, E. «Stomata from npq1, a zeaxanthinless arabidopsis mutant, lack a specific response to blue light.» *Plant Cell Physiol.* , 1999: 40(9):949-954.
- Gómez, C., & Mitchell, C. A. «Growth Responses of Tomato Seedlings to Different Spectra of Supplemental Lighting. » *HortScience*, 2015: 50(1), 112-118.
- González, M. Á., Pérez, L. B., & Hernández, L. V. *Propiedades ópticas de filtros líquidos para veraneros Optical Properties of Liquid Filters for Veraneros (Solar-Energy Controlled Weather Chamber)*. La Havana, Cuba: Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía , s.f.
- Hernández, J. C. L., & Parra, J. P. «Evolución de las estructuras de invernadero. , » *Plasticulture: Revue du CIPA= Journal of CIPA*, 2006: (125), 8-17.
- Hershey, D. R. «Plant Light Measurement & Calculations.» En *The American Biology Teacher*, 53(6), 351-353. 1991.
- Higashide, T., & Heuvelink, E. . «Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. » *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2009: 134(4), 460-465.
- Hogewoning, S. W., Douwstra, P., Trouwborst, G., Van Ieperen, W., & Harbinson, J. «An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra.» *Journal of experimental botany*, 2010: 61(5),1267-1276.
- Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., & Harbinson, J. « Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light.» *Journal of experimental botany*, 2010: 61(11), 3107-3117.
- Hogewoning, S. W., Wientjes, E., Douwstra, P., Trouwborst, G., van Ieperen, W., Croce, R., & Harbinson, J. «Photosynthetic quantum yield dynamics: from photosystems to leaves. » *The Plant Cell*, , 2012: 24(5),1921-1935.
- Jensen, Merle H., y Alan J. Malter. «Protected agriculture : a global review.» no. WTP 253. Washington, D.C. : The World Bank., 1995.
- Julė Jankauskienė, Aušra Brazaitytė and Pranas Viškelis. «Effect of Different Growing Substrates on Physiological Processes and Productivity in soilless tomato culture.» En "*Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops*",. 2015.
- Martin Ramos, P., Navas Gracia, L. M., Hernández-Navarro, S., Correa-Guimaraes, A., Martin Gil, J., Martin Bravo, E., ... & Duran Altisent, J. M. «Diodos emisores de luz para la irradiación de plantas.» 2010.
- Massa, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. « Plant productivity in response to LED lighting.» *HortScience*, 2008: 43(7), 1951-1956.
- Ménard, C., Dorais, M., Hovi, T., & Gosselin, A. « Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. » *InV International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture*. (2005, June). 711 (pp. 291-296).
- Montero, J. I. « Desarrollo de estructuras para invernaderos.» *Cuadernos de estudios agroalimentarios*,, 2012: (3), 45-70.
- Morrow, R. C. «LED lighting in horticulture.» *HortScience*, 2008: 43(7), 1947-1950.
- Morrow, R. C., & Tibbitts, T. W. «Evidence for involvement of phytochrome in tumor development on plants.» *Plant physiology*, 1988: 88(4), 1110-1114.

- Neil Mattson, Associate Professor and Floriculture Extension Specialist.
«<http://www.greenhouse.cornell.edu/structures/factsheets/Greenhouse%20Lighting.pdf>» Mayo de 2016.
- NurzyŹski, J. «Yield and quality of greenhouse tomato fruit grown in rape straw substrates.» 2013.
- Ouzounis, T. (Doctoral dissertation, SDUSDU, Det Tekniske FakultetFaculty of Engineering, Institut for Kemi-, Bio-og Miljøtek. *Spectral effects of light-emitting diodes on photosynthetic characteristics and secondary metabolism in greenhouse plants* . (Doctoral dissertation, SDUSDU, Det Tekniske FakultetFaculty of Engineering, Institut for Kemi-, Bio-og MiljøteknologiInstitute of Chemical Engineering, Biotech and Environmental Technology, 2014.
- Ouzounis, T., Parjikolaei, B. R., Fretté, X., Rosenqvist, E., & Ottosen, C. O. «Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigment in *Lactuca sativa*.» *Frontiers in plant science*, 6., 2015.
- Partida-Ruvalcaba, Leopoldo, y otros. «CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE TOMATE EN RESPUESTA A RADIACIÓN SOLAR TRANSMITIDA POR MALLAS SOMBRA.» *Terra Latinoamericana*, 29, nº 4 Octubre-Diciembre (2011): 403-410.
- Rajapakse, N. C., Young, R. E., McMahon, M. J., & Oi, R. . «Plant height control by photoselective filters: current status and future prospects.» *HortTechnology*, 9(4), 1999: 618-624.
- Rodríguez Beraud, Mario Marcelo y Morales Ulloa, Daniza Minerva. «Efecto de mallas sombreadoras sobre la producción y calidad de frutos de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Brigitta.» *Scientia Agropecuaria [online]* 6, nº 1 (2015): 41-50.
- Smith, H. «Phytochromes and light signal perception by plants—an emerging synthesis.» *Nature*, 2000: 407(6804), 585-591.
- Van Ieperen, W. «Plant morphological and developmental responses to light quality in a horticultural context.» *In VII International Symposium on Light in Horticultural Systems*. 2012. 956 (pp. 131-139).
- Van't Ooster, A., Heuvelink, E., Stanghellini, C., Van Henten, E. & Herderman, F. *Greenhouse technology*. Wageningen University, 2015.
- Von Elsner, B., et al. «"Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union Countries, Part II: typical designs."» *Journal of agricultural engineering research* 75, nº 2 (2000): 111-126.
- Von Elsner, B., et al. «"Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I, design requirements."» *Journal of Agricultural Engineering Research* 75, nº 1 (2000): 1-16.
- Watanabe, H. «Light-controlled plant cultivation system in Japan-development of a vegetable factory using LEDs as a light source for plants.» *In VI International Symposium on Light in Horticulture*. 2009. 907 (pp. 37-44).
- Yeh, N., & Chung, J. P. «High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation.» . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009: 13(8), 2175-2180.
- <http://www.iluminet.com/iluminacion-estado-sol/>
- <http://zelulazero.com/introduccion-a-la-iluminacion/>

ANEJO N° 3.- INGENIERÍA DEL PROCESO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. CULTIVO PROTEGIDO.....	2
3. TIPO DE CUBIERTA Y ESTRUCTURA	3
4. SOPORTE HIDROPÓNICO	6
5. IRRIGACIÓN Y FERTILIZACIÓN	10
6. CONTROL AMBIENTAL	10
7. MARCO DE PLANTACIÓN.....	11
8. ILUMINACIÓN	12
8.1. Lámparas HPS.....	12
8.2. Iluminación auxiliar	12
8.3. Malla de sombreo	13
9. SISTEMAS DE CONTROL.....	13

Índice imágenes

Imagen 1. Representación de un diseño Venlo de doble envergadura con viga enrejada.	4
Imagen 2. Representación de un invernadero de cristal de gran envergadura	5
Imagen 3. Fotografía de varios de los dispositivos climáticos en cada cabina.	11
Imagen 4. Esquema de la distribución de las mesas de ensayo (verde) en las cabinas del invernadero.....	12
Imagen 5. Detalle de varios elementos de iluminación en una de las cabinas.	13
Imagen 6. Esquema del sistema de control.....	15

Índice tablas

Tabla 1. Problemas característicos y cualidades deseadas en el invernadero.....	3
Tabla 2. Comparativa Venlo-Gran envergadura para invernaderos.*con verja enrejada	5
Tabla 3. Características de sustratos más utilizados en cultivo hidropónico. (Baixauli Soria 2002).....	9

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se pretende describir cada elemento que interviene en el proceso productivo que se lleva a cabo en el invernadero de investigación y justificar la elección. Para ello se analiza la agricultura protegida, los principales tipos de invernadero, el sustrato o soporte para las plantas, el método de riego, la iluminación, las pantallas y los sistemas de control.

2. CULTIVO PROTEGIDO

El elemento que proporciona el espacio donde se llevan a cabo los ensayos es el propio invernadero. Un invernadero es toda estructura con cubierta transparente o translúcida enfocada a la protección del cultivo de las condiciones ambientales adversas mediante la creación un microclima óptimo para la producción vegetal. Debe ser capaz de permitir el paso de una persona erguida y puede incluir el equipamiento mecánico, hidráulico, de calefacción o de ventilación necesarios.

Las ventajas principales de este tipo de explotación agrícolas son:

- Obtención de productos con alto valor añadido al ser de algún modo exóticos, ya sea por localización o temporada.
- Alta calidad y rendimiento en la producción.
- Posibilidad de reducir externalidades negativas al reducir el consumo de agua, evitar pérdidas y contaminaciones por fertilizantes y pesticidas.
- Alta capacidad de control ambiental para ajustar ciertas características deseables del producto, por ejemplo acelerar o frenar la velocidad de producción. De este modo, se pueden conseguir varias cosechas en un año o retrasar la salida al mercado del producto.

Por otra parte, las desventajas son:

- Alta inversión por metro cuadrado de producción.
- Alto coste de producción, debido principalmente al uso de energía y la necesidad de personal especializado.
- Mayores requisitos en el ambiente tecnológico y socioeconómico.
- El aislamiento pueden causar problemas debido a altas temperaturas y humedades relativas, la variación de CO₂ en el interior o una reducción de la luz solar.

De lo anterior se extrae que un invernadero crea las características ambientales necesarias para medir con una seguridad aceptable la influencia de distintos tratamientos luminosos en el cultivo, además de resguardarlo de situaciones climáticas adversas sin tener que renunciar a la luz y ventilación naturales.

Las características específicas deseables para un invernadero dependen de gran cantidad de factores: la topografía, las necesidades bioclimáticas del cultivo, las características climáticas de los alrededores, la disponibilidad de la tecnología, capital, mano de obra y materiales necesarios. El resultado final del diseño y construcción debe compensar o rectificar los inconvenientes que esos factores puedan causar (Tabla 1).

Tabla 1. Problemas característicos y cualidades deseadas en el invernadero.

Cualidades de la agricultura protegida en climas templados	
Principales problemas	Cualidades deseadas
<ul style="list-style-type: none"> • Viento y nieve. • Sombra por la estructura y dispositivos. • Baja temperatura en invierno. • Gran coste en personal y recursos • Picos de calor en verano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilación o sombreado en verano • Sistema de calefacción en invierno • Prevención de pérdidas de calor mediante aislamiento • Alta transmisividad lumínica de la cubierta • Estabilidad frente a cargas de nieve y viento. • Alta capacidad de producción y de reutilización de recursos • Versatilidad

3. TIPO DE CUBIERTA Y ESTRUCTURA

La primera diferencia en invernaderos surge a la hora de seleccionar el tipo de cubierta (plástico o cristal) y la forma de la estructura. En este caso el invernadero posee una cubierta de cristal. Esta clase, a pesar de la elevada inversión inicial necesaria, se compensa gracias a una gran resistencia a las agresiones climáticas, químicas o impactos que puedan suceder, tienen muy buena transmisividad con menores pérdidas de calor y una vida útil mucho más larga que el plástico. Además, las cubiertas de cristal presentan una menor condensación y una mayor estanqueidad, que evita problemas de enfermedades o entradas de patógenos. Por estas razones los invernaderos de cristal son los más utilizados cuando, como es el caso, prima la seguridad por proteger materiales de gran valor. Las planchas de cristal de la cubierta a dos aguas son translúcidas para mejorar la difusión de la luz a lo largo de toda la altura de la planta evitando formar sombras mientras que las láminas situadas en las paredes son transparentes.

Los dos modelos de estructura más extendidos en invernaderos de cristal son el Venlo y el invernadero de gran envergadura (Von Elsner, "Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union Countries, Part II: typical designs." 2000):

- Tipo Venlo: surgió en la ciudad holandesa del mismo nombre en la primera mitad del siglo XX. Este diseño tiene un único panel de cristal entre la limatesa y la limahoya. Todas sus dimensiones están ya estandarizadas y reguladas

(ancho entre columnas 3.2 o 4m, largo 3, 4, 4.5, 4.8 y 5m; y alto entre 3 y 5m) (Van't Ooster 2015)) y esto ha resultado en un descenso increíble del precio y tiempo de construcción. También se puede diseñar con una viga de enrejado que aumenta la luz que llega al suelo, aumenta la eficiencia energética y permite eliminar apoyos, multiplicando la luz entre pilares. Es el tipo de invernadero de cristal más utilizado en producción comercial y en investigación a gran escala. Esto es debido a que la estandarización de sus componentes permite añadir superficie acoplando nuevos módulos o dividir el espacio fácilmente. Este tipo de invernadero de cristal es el usado principalmente para hortalizas pero prácticamente cualquier cultivo puede adaptarse.

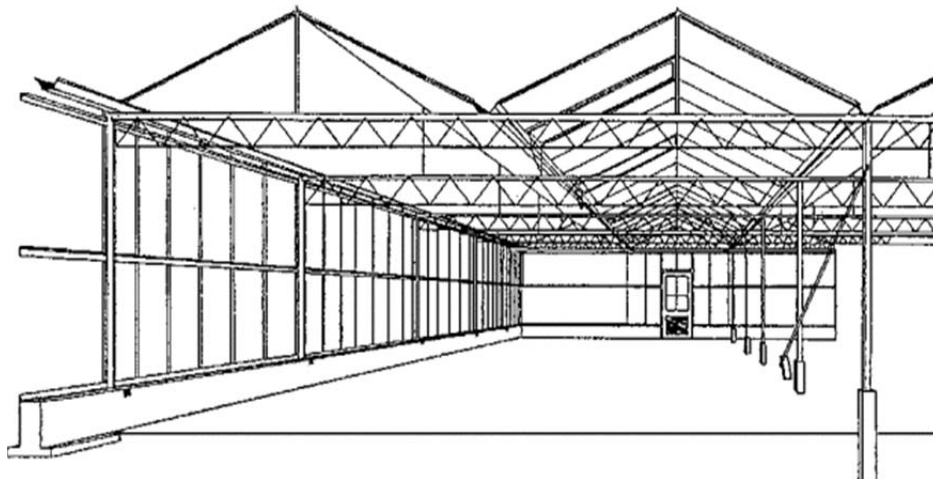


Imagen 1. Representación de un diseño Venlo de doble envergadura con viga enrejada.

- Invernadero de gran envergadura: este tipo es anterior al Venlo y proviene de los antiguos invernaderos de los jardines botánicos. El diseño permite poner varios paneles de cristal entre la limatesa y la limahoya (Imagen 2), dando lugar a envergaduras muchos mayores (hasta 20 m) entre pilares. Además de una vida útil más larga que el modelo Venlo, su forma proporciona un mayor volumen de aire dentro del invernadero, menos columnas para favorecer la mecanización y una mejor ventilación (Von Elsner, "Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union Countries, Part II: typical designs." 2000). Por otra parte, la estructura tiene desventajas como que la altura y longitud entre pilares consecutivos son algo más pequeñas, el diseño requiere soportes para la instalación de luz suplementaria en áreas grandes y la necesidad de cimentaciones para aguantar el mayor peso alarga la construcción (Van't Ooster 2015). En la actualidad en este tipo de invernadero se cultivan principalmente flores de forma comercial, aunque originalmente se dedicaba a especies leñosas y ahora cualquier cultivo puede adaptarse. Aventura al tipo Venlo únicamente en pequeñas superficies (hasta 1 ha) ya que al no encontrarse sus componentes tan estandarizados, el diseño, la construcción y el mantenimiento del invernadero se complica al aumentar su tamaño.

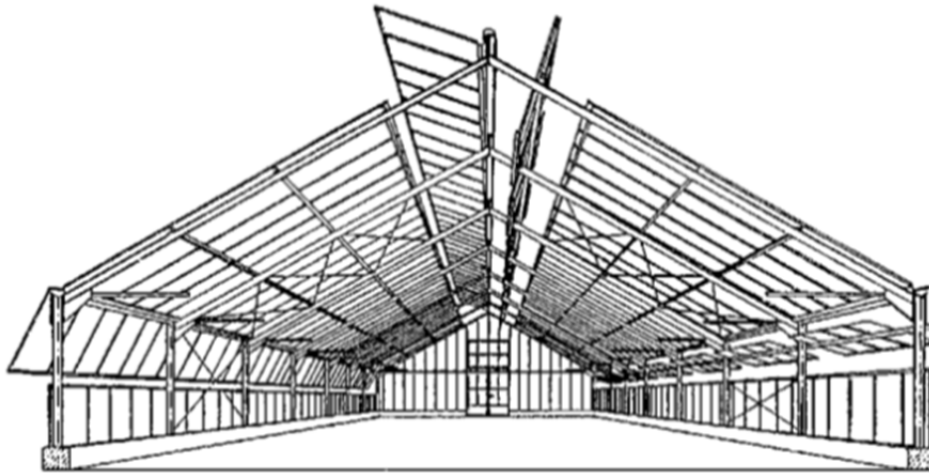


Imagen 2. Representación de un invernadero de cristal de gran envergadura

A partir de las características anteriormente descritas se deduce que el diseño de invernadero que mejor se adapta a las condiciones del invernadero del centro de investigación es uno de tipo de gran envergadura dividido en varias cabinas.

Tabla 2. Comparativa Venlo-Gran envergadura para invernaderos.*con verja enrejada

Característica	Venlo	Gran envergadura
Ventilación		+
Precio	+ en grandes superficies	+ en pequeñas superficies
Vida útil		+
Construcción	+	
Luz suplementaria	+	
Transmisión de luz	+	
Eficiencia energética	+	
Cantidad de aire		+
Versatilidad		+ (en pequeñas superficies)
Dimensiones (m)		
Ancho	3.2-4-12*	6.4-20
Largo	3-5	3-4.5
Alto del pilar	2.2-5	2.7-3.5

4. SOPORTE HIDROPÓNICO

La necesidad de aislar al invernadero de investigación de factores externos incontrolables obliga a eliminar la opción de cultivar las plantas en suelo normal y por tanto se elige la técnica de cultivo hidropónico como soporte para la planta. Dicho sistema sustituye el suelo como sustrato por un material inerte y cuenta con las siguientes ventajas:

- Una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, favoreciendo por tanto el desarrollo del cultivo.
- La nutrición está mucho más controlada que en los sistemas de cultivo en el suelo, puesto que no existen interacciones entre la solución con nutrientes y el sustrato. Por ello el sustrato debe ser inerte o tener una baja capacidad de intercambio catiónico.
- Se pueden emplear sustratos distintos a los comercialmente conocidos y procedentes de residuos, como la paja de cereales, la fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, residuo de la industria del corcho, etc., con muchas posibilidades y con posibles soluciones por explotar a nivel local.
- Al emplear en la mayor parte de los casos sustratos totalmente inertes, con ausencia de enfermedades típicas del suelo, convierten al sistema de cultivo sin suelo, como una buena alternativa al empleo de desinfectantes.
- Se consigue una mejor homogenización de la distribución de nutrientes y por tanto se eliminan variaciones en el desarrollo de las plantas. Los trabajos de incorporación de abonados de fondo, preparaciones de suelo y eliminación de malas hierbas se vuelven innecesarios, ahorrando tiempo y dinero.
- Se puede conseguir una mayor precocidad y mayor potencial productivo, debido a que la planta cuando toma la solución nutritiva, consume menos energía para su desarrollo que en los sistemas de cultivo en suelo.
- Da la posibilidad además de implementar un circuito cerrado de nutrientes en el que se recoja el agua, se esterilice y se vuelva enriquecer con nutrientes antes de almacenarse para el siguiente riego. Esto es de gran importancia en algunos países, donde por ley se deben reutilizar los drenajes para reducir el uso de agua, fitosanitarios y energía (Baixauli Soria 2002). De esta manera se busca preservar el medioambiente sin afectar al rendimiento del cultivo.

Generalmente se puede decir que se consigue una mayor calidad de cultivo y por tanto del producto. Como desventajas del sistema hidropónico respecto al sistema tradicional de soporte se pueden citar el mayor coste de instalación, tanto de instalación como de mantenimiento; un mayor riesgo debido a la poca capacidad de tampón de la solución nutritiva y a una expansión de enfermedades a través del agua de riego, y por último, un mayor grado de exposición a cambios de temperatura por la menor inercia térmica del sistema respecto al del suelo.

Aún con estos inconvenientes, el cultivo hidropónico supone una alternativa sostenible y rentable en tiempo y dinero, ya que permite la obtención segura de un producto muy homogéneo con el mínimo consumo de agua y fertilizantes. Sin embargo,

y si fuese necesario por la naturaleza de la planta a estudiar o del experimento, se podría utilizar tierra, esterilizada o no, para llevar a cabo los ensayos en el invernadero.

Existe un gran número de materiales de buena calidad, para los que el criterio de elección depende principalmente de su disponibilidad, su coste y la experiencia local en su empleo. A nivel europeo, los sustratos más extendidos en la hidroponía son la perlita, la fibra de coco y la lana de roca.

A un buen sustrato se le pide un comportamiento similar al de una esponja, es decir, una elevada porosidad, gran capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, distribución del tamaño de partículas, baja densidad aparente y estabilidad. A continuación se expone un breve resumen de las características físicas y químicas de estos tres materiales para justificar la elección del sustrato:

- Lana de roca.

El cultivo en lana de roca tienen su origen en Dinamarca y posteriormente se desplaza a los Países Bajos, donde se desarrollan en la actualidad unas 3.600 ha que representan el 35% del total de su superficie de invernadero (Von Elsner, "Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I, design requirements." 2000).

La lana de roca se obtiene por la fundición de un 60% de diabasa, 20% de piedra caliza y 20% de carbón de coque, que se introduce en un horno a una temperatura de 1600 °C. La masa fundida pasa por unas ruedas giratorias, de donde sale en forma de fibras de aproximadamente 0,005 mm de grosor. En el proceso se añaden estabilizantes (resina fenólica bakelita) y mojantes. Posteriormente la lana se comprime a una temperatura de 260°C y adquiere su forma, en donde se corta en tablas, para ser embolsadas con un plástico opaco, generalmente blanco en la cara exterior. Las planchas se convierten en lo que denominamos tablas, tacos y bloques, en donde cultivamos las plantas o se realizan los semilleros respectivamente.

Más del 95% del agua retenida por la lana de roca es fácilmente asimilable, el material no tiene prácticamente agua de reserva ni agua difícilmente disponible, con lo que la planta puede disponer de casi la totalidad del agua retenida en la tabla con una gran facilidad, aspecto que resulta conveniente en la medida en que la planta debe esforzarse muy poco para tomar la solución nutritiva. Por otra parte, en su manejo se deben tomar las precauciones oportunas, evitando dejar sin suministro de solución nutritiva durante un periodo largo para evitar la deshidratación, además su estabilidad mecánica es baja y su duración limitada.

Es un material químicamente inerte, aunque está compuesto por óxidos de azufre, calcio, aluminio, magnesio, hierro etc., que no los puede aprovechar la planta. La lana de roca tiene una cierta reacción alcalina en un primer momento, que puede ser corregida mediante su manejo por medio de la saturación del sustrato con una solución

nutritiva ácida, con un pH de 5,5-5,8. Su capacidad de intercambio catiónico (CIC) y su poder tampón son prácticamente nulos, por lo que se deberá prestar especial atención en el manejo de la solución nutritiva.

El problema principal de la lana de roca es el ser un material no biodegradable. Existe la posibilidad de creación de plantas de reciclado, en donde el producto residual se convierte en ladrillos que se destinan a la construcción.

La lana de roca presenta como ventajas que, por ser un material totalmente inerte apenas interfiere en la nutrición, control de enfermedades de suelo, presenta una excelente relación aire-agua, la mayor parte del agua es fácilmente asimilable y existe una gran experiencia de manejo contrastada en diversos países. Como inconvenientes presenta, el que debemos estar muy atentos en el manejo evitando quedarnos sin agua, por su difícil recuperación, formulando correctamente la solución nutritiva, por su nula CIC y bajo poder tampón.

- Perlita.

La perlita es un silicato de aluminio de origen volcánico. El material recién sacado se muele y es transformado industrialmente mediante un tratamiento térmico con precalentado a 300-400°C y depositado en hornos a 1.000°C. A estas temperaturas se evapora el agua contenida en sus partículas, obteniendo un material muy ligero con una alta porosidad y 128 kg/m³ de densidad.

Existe en el mercado diferentes tamaños de partícula, que da lugar a los distintos tipos de perlita, siendo uno de los más comercializados el tipo B-12, que está formado por fracciones medias y gruesas junto con fracciones finas.

Se debe prestar especial atención a su manipulación, evitando, una posible degradación de su granulometría; una perlita pulverulenta puede reducir la aireación del sustrato y afectar al buen drenaje del mismo.

Aunque también un material muy inerte que no se descompone de forma fácil ni biológica ni químicamente, al ser un silicato de aluminio, empleando soluciones nutritivas con pH inferior a 5, se puede producir una solubilización del aluminio y provocar fitotoxicidad. El pH es neutro o ligeramente alcalino inicialmente y puede ser corregido como en el caso de la lana de roca. Su salinidad es muy baja. Tiene muy baja capacidad de intercambio catiónico (1,5-2,5 meq/100 g) y capacidad tampón.

- Fibra de coco.

Es un material vegetal procedente de los desechos de la industria del coco. Tras la extracción de las fibras más largas del mesocarpo que son utilizadas para la fabricación de cuerdas, cepillos, etc., se aprovechan las fibras cortas y el polvo de tejido medular en proporciones variables como sustrato. Es un material ligero y presenta una porosidad total muy elevada, por encima del 93%. Presenta cantidades aceptables de agua fácilmente disponible y está bien aireado. Su densidad aparente es muy baja, lo que hace

muy sencillo su manejo. Además, tiene un porcentaje elevado de agua de reserva y superior poder tampón (respecto a la lana de roca aunque no mucho mas), que permite una mayor flexibilidad en el caso de errores en el riego (Baixauli Soria 2002).

El polvo de coco es el que se encarga de la retención del agua en todo el volumen del sustrato, mientras que la fibra proporciona el nivel necesario de aireación, evitando cualquier posibilidad de encharcamiento. Es capaz de retener hasta ocho veces su peso en agua, lo que posibilita un mayor espaciamiento entre los riegos. Es posible mejorar este sustrato mediante mezclas con otros materiales orgánicos de desecho que aumentan los rendimientos del cultivo (Nurzyński 2013). Este ahorro de agua se traduce en un menor gasto de abono y un menor uso de la máquina de riego. Además es un sustrato económico y disponible en el mercado local.

Tabla 3. Características de sustratos más utilizados en cultivo hidropónico. (Baixauli Soria 2002)

Material	Lana de roca	Perlita	Fibra de coco
Porosidad total (%vol.)	93	85,9	96,1
Densidad aparente (g/cm ³)	0,08	0,143	0,059
Agua fácilmente disponible (%vol.)	30	24,6	19,9
Agua de reserva (% vol.)	0,9	7	3,5
Capacidad de aireación (% vol.)	35-45	29,1	44,9
CIC (meq/100 g)	0	1,5-2,5	61
Duración	Media	Media	Alta
Materia inerte	Alta	Alta	Media
Capacidad tampón	Media	Media	Alta
Prevención colmatación	Alta	Baja	Alta
Porosidad (%)	Media	Baja	Alta
Biodegradación y reciclaje	Baja	Baja	Alta

Tras comparar las ventajas e inconvenientes de los tres sustratos (Tabla 3), se descarta en primer lugar la perlita por el riesgo de disminución de la aireación y por tanto del drenaje que se correría con una mala manipulación. Se elige la fibra de coco por encima de la lana de roca por el ahorro de agua y abonos, y la tranquilidad de que si se va la luz del invernadero el sustrato conservará la humedad y preservará la integridad de la planta por unos días. Además se ha visto que mientras que la lana de roca aumenta la masa seca de las partes verdes de plantas como el tomate la fibra de coco aumenta el rendimiento en los frutos de la planta (Julè Jankauskienė 2015). Por estas razones la fibra de coco es el sustrato por defecto en los experimentos en este invernadero, pero puede ser sustituido por otro sustrato inerte o suelo si fuese necesario por la naturaleza del experimento.

5. IRRIGACIÓN Y FERTILIZACIÓN

El aporte de agua y nutrientes minerales esenciales (macronutrientes primarios N, P, K; secundarios Ca, Mg, S; micronutrientes Fe, Mn, Cu, B, Zn) se realiza mediante la denominada fertirrigación. Esto consiste en la disolución controlada de los nutrientes a en el agua de riego. De esta manera se puede manipular la concentración de dichos nutrientes y por tanto el acceso a los mismos por la planta con el fin de estudiar su desarrollo. La mezcla se lleva a cabo en tanques en los laboratorios del edificio anexo que pertenece al mismo centro investigador y que después se transportan al invernadero. El contenido del tanque puede ser bombeado a la superficie de la mesa para que inunde la bandeja sobre la que se encuentran los recipientes con las plantas o distribuido de forma individual y manual mediante dispensadores de pistola. El líquido excedente es recogido y devuelto al tanque para su reutilización.

6. CONTROL AMBIENTAL

La manipulación de factores como la temperatura y humedad relativa se puede llevar a cabo mediante dispositivos presentes en cada cabina y que actúan cuando así lo requiera la naturaleza de la investigación en cada momento (Imagen 3). Cada cabina cuenta con un humificador, un radiador, un ventilador y ventilación cenital mediante un motor. A su vez, cada mesa tiene, por debajo de la superficie de trabajo, un circuito de agua caliente para aportar calor a las plantas si fuese necesario. También se puede aumentar la ventilación a través de una trampilla manual encima de la puerta que conecta al pasillo, donde se puede abrir una ventana que recorre lo longitudinalmente. Otro dispositivo que será mencionado en el apartado de iluminación pero afecta al control de temperatura es la malla híbrida de ahorro de energía y sombreamiento, que se puede utilizar tanto para retener el calor dentro o para aislar parcialmente la cabina del calor exterior. Hay que añadir aquí los dispensadores de productos fitosanitarios que se pueden instalar dentro de cada cabina y que están dedicados a la protección, o a experimentos sobre la misma, contra patógenos.



Imagen 3. Fotografía de varios de los dispositivos climáticos en cada cabina. El radiador, la trampilla cerrada, la malla recogida y el pulverizador funcionando.

7. MARCO DE PLANTACIÓN

Consiste en la disposición de las plantas dentro de la nave de producción. Para cultivos hortícolas en explotaciones comerciales, se emplean densidades de plantación comprendidas entre 2 y 6 plantas por paquete o tabla de sustrato, dándose casos de plantaciones que utilizan densidades altas de cultivo (cultivo de tomate en ciclo primaveral) en las que se puede llegar hasta 9 plantas por tabla. Se utiliza una cantidad total comprendida entre 3.333 a 5.000 tablas/ha, que corresponde aproximadamente entre 50 y 75 m³/ha de sustrato en general aunque en Holanda se llegan a instalar hasta 150 m³ de sustrato por hectárea (Baixauli Soria 2002).

Dado que una de las principales características deseadas para el invernadero cuestión es la versatilidad, tiene que ser posible la implantación de distintos marcos de plantación según se esté trabajando con plantas crecidas, germinando semillas, especies leñosas, etc. El marco de plantación utilizado en el invernadero objeto del proyecto depende de la colocación de las mesas de ensayo presentes en las cabinas. La disposición actual es al lado de las paredes (excepto la de la puerta) y una mesa en el centro para formar un pasillo que permita el acceso del personal investigador o de servicio a toda la superficie de trabajo. Las mesas se encuentran fijadas al suelo pero de ser necesario se puede cambiar su localización dentro de la cabina o reducir o aumentar el número de las mismas en la sala.

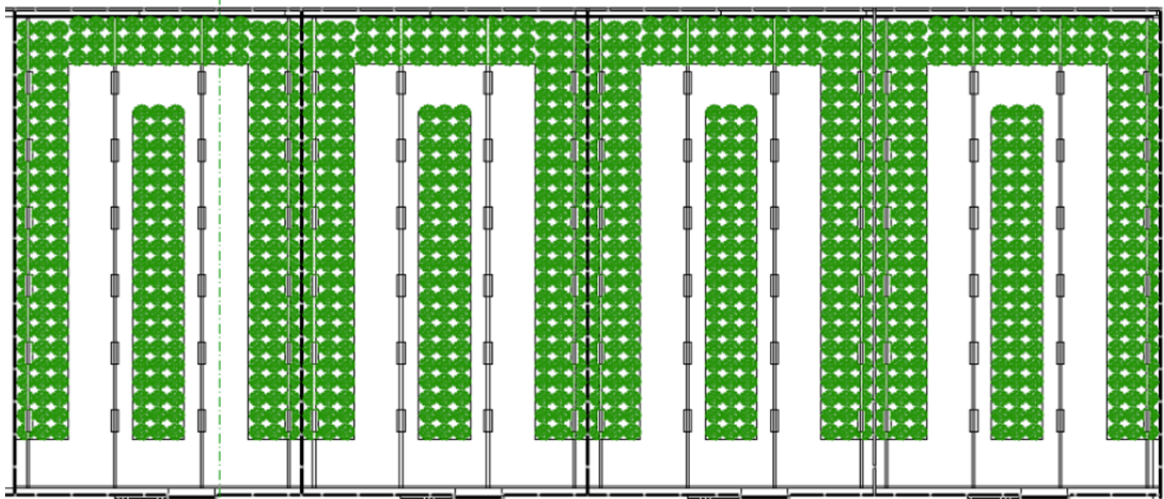


Imagen 4. Esquema de la distribución de las mesas de ensayo (verde) en las cabinas del invernadero.

8. ILUMINACIÓN

El sistema de iluminación artificial del invernadero consta de 3 subsistemas,

8.1. LÁMPARAS HPS

Las luces de alta presión de sodio es el principal sistema de iluminación presente en el invernadero hasta ahora. Se disponen a razón de 24 lámparas con un año de antigüedad en cada cabina, en una matriz de 4 columnas y 6 filas. Posee un espectro de emisión con una composición de hasta el 95% de rojo y 5% de luz azul, también tiene unos buenos parámetros de vida útil y consumo de electricidad. Estas cualidades si bien hacen a este sistema de iluminación ser idóneo para explotaciones comerciales, al emitir un espectro fijo se vuelve incapaz de proporcionar una capacidad básica de control espectral luminoso. Su principal uso por tanto en este centro de investigación es la manipulación del fotoperiodo al sustituir a la luz solar cuando esta es insuficiente, incrementando las horas de actividad fotosintética por e influyendo por tanto en el desarrollo de la planta.

8.2. ILUMINACIÓN AUXILIAR

Consiste en la iluminación utilizada por el personal de investigación y servicio para poder operar adecuadamente cuando no hay luz de otro tipo. Consiste en tubos fluorescentes en el pasillo, cabinas y sala de control, además de los métodos de señalización auxiliar para indicar la salida de la instalación.



Imagen 5. Detalle de varios elementos de iluminación en una de las cabinas. Se puede apreciar la composición de la malla en el centro, la iluminación auxiliar fluorescente y la suplementaria HPS.

8.3. MALLA DE SOMBREO

Son unas mallas híbridas (bandas alternas de tejido aluminado y plástico) cuyo objetivo es tanto aislar el interior de la cabina de la radiación exterior como evitar pérdidas de energía a la atmosfera. En el primer caso se evitan interferencias de la radiación solar en los experimentos del invernadero y en el segundo ahorrar energía o reducir la contaminación lumínica por la noche si la iluminación suplementaria está encendida. Cuando no se necesita su uso se enrollan en el centro y en un lado de cada cabina. Pueden desplegarse o recogerse individualmente mediante motores eléctricos para crear distintas condiciones de iluminación. Si fuese necesario aumentar la el aislamiento se pueden colocar manualmente mallas de sombre en las paredes.

9. SISTEMAS DE CONTROL

El seguimiento y control de las instalaciones del invernadero está gobernado en la actualidad por un sistema de control, que recoge el estado de las señales digitales y analógicas procedentes de la instalación e instrumentos, que procesa las instrucciones de acuerdo con lo establecido en el programa de usuario y genera las salidas, transmitiendo esta información al sistema de control central para el procesado de la información obtenida.

La instalación actual de control e instrumentación del invernadero dispone de:

- Autómata o PLC (controlador lógico programable) modular para el tratamiento de variables analógicas y digitales, que son procesadas mediante un programa. Este equipo consta de:

- Unidad de control de proceso o CPU que interpreta el código de instrucciones del programa, lee la información de las entradas (analógicas o digitales) y envía la información (analógicas y digitales) actuando sobre el proceso.
- Memorias que almacenan las instrucciones del programa, datos, estados internos y de estados de entradas y salidas.
- Fuente de alimentación para alimentar a los diferentes dispositivos del PC a 24 Vcc.
- Módulos de entrada que digitalizan las variables electrónicas de los captadores (finales de carrera, pulsadores, etc.)
- Módulos de salida convirtiendo los valores binarios (0 ó 1) en un contacto abierto o cerrado (salidas digitales) o, en el caso de las analógicas actuando en un rango de tensión (0-10V) o de intensidad (4-20 mA).
- Ordenador tipo PC para comunicar con el autómatas con los objetivos de:
 - Modificar la programación de procesos
 - Visualizar el estado de las entradas y salida, así como sus diferentes históricos
- Conmutador o switch que interconecta los diferentes dispositivos de la red internamente (PLC y ordenador) y externamente a Internet mediante el Router.
- Actuadores de la instalación, como motorreductores de las ventanas cenitales y lateral, humidificadores por pulverización, ventiladores, interruptores del sistema de iluminación, bomba de riego, dispensadores de productos fitosanitario y generadores de aire caliente.
- Sensores para controlar el sistema. Un sensor es un instrumento que es capaz de detectar magnitudes físicas o químicas (temperatura, humedad, etc.) y transformarla en una variable eléctrica. La información del ambiente exterior del invernadero se extrae en tiempo real de la estación meteorológica situada en la misma finca de La Grajera y el Servicio de Información Agroclimático de La Rioja se encuentra en el mismo Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino. Para la información sobre la velocidad del viento y su dirección se cuenta con un anemómetro y veleta en el exterior del invernadero. Actualmente hay instalados en el interior del cada cabina del invernadero los siguientes sensores:
 - De humedad por conductividad. La presencia de humedad en el ambiente se mide por el cambio de la conductividad eléctrica en unas rejillas de oro por la que circula el aire ambiente.
 - De temperatura basados en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura.
 - Fotoeléctricos que responden al cambio en la intensidad o en el espectro (piranómetros y fotodiodos) de la luz.
- Red o sistema de comunicaciones formado por:
 - Entre los sensores y los accionamientos del cuadro eléctrico con el PLC, una red de cables denominados ROV-K 0,6/1 kV según UNE 21123-2, formado por conductores de cobre flexible clase 5, según UNE 21022. Estos

conductores disponen de pantalla contra interferencias externas, formada por trenza de hilos de cobre electrolítico recocido, aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) de 0,7 mm de espesor y cubierta de PVC.

- Para conectar el PLC con el ordenador mediante cables USB y ETHERNET. Este último tipo de cable es el utilizado habitualmente para interconectar todos los dispositivos que conforman una LAN, incluyendo impresoras, discos externos, routers, escaners, switches, etc. Entre los diferentes tipos de cable red, el instalado es el tipo UTP que consta de 4 pares de hilos recubiertos con una malla metálica cuyo propósito es el de proteger los datos de todo tipo de interferencias eléctricas.

A la instalación de control e instrumentación hay que añadir la conexión de los nuevos actuadores en el sistema de iluminación y los sensores al PLC, que se describirá en el Anejo 5.

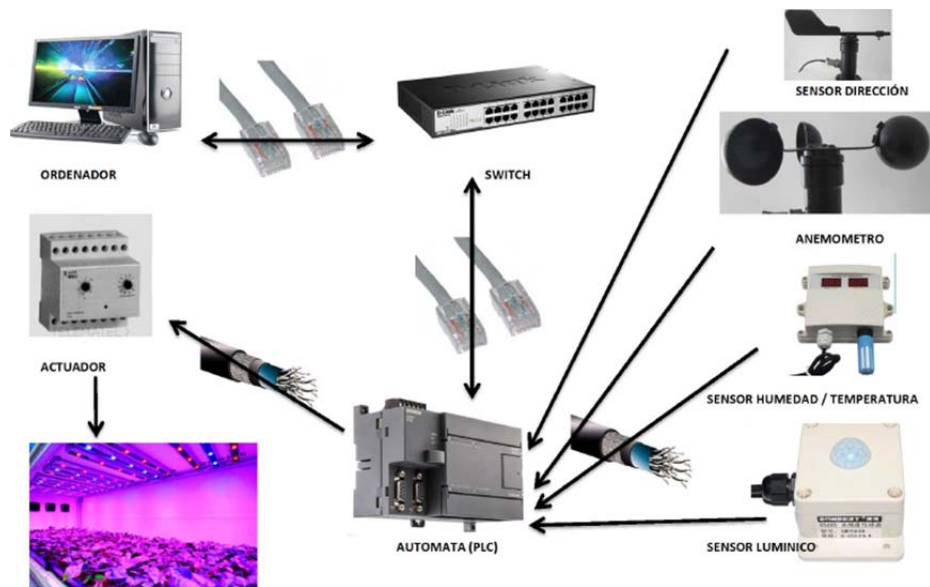


Imagen 6. Esquema del sistema de control

ANEJO N° 4.- EXPERIMENTO CON CONTROL ESPECTRAL

ÍNDICE

1. PREFACE.....	2
2. INTRODUCTION	2
3. EXPECTED RESULTS	3
4. MATERIALS AND METHODS.	4
4.1. Plant material growth. Conditions and layout of the experiment.	4
4.2. LED environment and non-destructive measurements.....	5
4.3. Harvest and destructive measurements. Sowing of the next environment plants.....	6
4.4. Data collection and statistical analysis.	7
5. RESULTS AND DISCUSSION	9

Appendixes:

Appendix 1. Nutrient solution composition.

Appendix 2 Tomato genotypes

References

1. PREFACE

The following experiment was carried out by the author of the project during his Erasmus year 2014/2015 in Wageningen University (The Netherlands). This was possible thanks to his collaboration with the research team of the Horticulture and Product Physiology department from the university and was contained in “LED it be 50%” project. This document is included in the project “Diseño e implantación de un sistema de iluminación suplementario LED en un invernadero de investigación en La Grajera, Logroño (La Rioja)”, as evidence of the effects that spectral control can achieve and of the previous experience of the author.

2. INTRODUCTION

As every other living being since the origin of life, plants face countless threats during their life cycle. In order to overcome those difficulties and to optimize the use of their limited resources, plants employ the information they sense from the environment. Light, described as the combination of different electromagnetic radiations within a certain portion of the electromagnetic spectrum is essential for plant growth not only as energy source but also as information of the surroundings. This “visual” perception is in part possible thanks to several small photochromic proteins (photoreceptors), such as phytochromes for example, that allow plants to sense fluctuations in direction, amount, composition or duration of light. The sun has always been the main light source, but the need of sustaining growing populations in a world threatened by climate change is promoting protected agriculture and urban farming (Yeh & Chung, 2009), where the use of supplementary lighting (SL) is necessary if this resource becomes a limiting factor due to multiple factors such as latitude, season, hour of the day or a greenhouse cover (van’t Ooster et al. 2015). Currently, the most common sources of SL are High-Pressure Sodium lamps (HPS) for large scale greenhouses and Fluorescent Tubes (FTs) in research centres. However, there are important differences in the way cultivars from the same species (in this case tomato plant, *Lycopersicon esculentum*); react to the different radiations (Higashide & Heuvelink, 2009). This fact has driven modern horticulture to select the best choice from the different plant responses according to light variables such as direction, quantity (photosynthetic photon flux, PPF), quality (wavelength) and photoperiod (illumination time per day) (Ouzounis et al., 2015). In this direction, improvements in plant morphology and photosynthetic parameters are possible by manipulating the light spectrum (Brazaitytė et al., 2010), but gaseous discharge lamps such as HPS and FTs do not offer this possibility because they emit a fixed spectrum. In addition, the emission peak of HPS is mostly located in the yellow range (589 nm) that can even be disadvantageous for plant production (Brazaitytė et al., 2010). They emit most radiation in the red region between 550 and 650 nm and little (around 5%) in the blue region between 400 and 500 nm (Sager and McFarlane 1997).

On the other hand, since the late 1980s small devices formed by a chip of semiconductor material with impurities with a narrow spectral emission called Light Emitting Diodes (LEDs) are being commercialized. These devices have p-n (anode-cathode) junction which is crossed by a unidirectional current of electrons. When crossing, electrons fall to a lower energy level and emit the bandgap energy of the impurities of the junction as light, whose wavelength (color) is determined by that energy difference (Yeh & Chung, 2009). By modifying the material composition of the chip, LEDs enable control of spectral compositions but also have many other advantages that make them more suitable than previous SL systems (Van Ieperen, 2012). Apart from the already mentioned narrow spectra emission band, they also produce low radiant heat that allows installation of light modules closer to the plant without damaging it, long useful life, safety due to lack of glass envelopes or toxic and pollutant gases, low touching temperatures and linear output with power input, (Morrow, 2008). These features make feasible to install LEDs in the canopy or to adjust the light output according to the photoreceptors, matching energy consumption and demand in the right moment, amount and place and in consequence saving money (Gómez *et al.*, 2010). Despite the previous facts, FTs and HPS are still the most widespread lamps system, mainly because of the elevated price and technical knowledge needed, the relatively complicated implementation in production panels and production of LEDs corresponding to the most energetic wavelengths like blue or ultraviolet (the shorter the radiation wavelength the more energy it has). Nevertheless, the technical improvement is turning the production of larger diodes installations feasible at lower prices and higher performances every year and, in addition, new trials are extending the knowledge about the effects in plants of narrow spectrum emission. As a result of this process, LEDs are foreseen to stop being limited to small scale research and become the main horticultural lighting system in the near future.

3. EXPECTED RESULTS

The experiment consists of phenotyping several tomato plant genotypes grown in two light environments (100% Red and 88% Red/12% Blue) in order to study the effects of different light compositions in plant behavior. In the red light environment the lack of any kind of light except red light automatically excludes all effects caused by the other radiations. This is especially important in the blue light case. As proved by the experiment of Hogewoning (2010 B) with a red monochromatic environment, plants are expected to have smaller leaf area, less fresh and dry weights and smaller stomatal conductance and pigment content. In conclusion, the absence of other lights, especially the blue light, will cause a disruption of the normal plant metabolism and as consequence smaller and less efficient plants. Based in that experiment (with cucumber) and also in previous research papers about radish, spinach and lettuce, Hogewoning suggests that genetic variation could be the cause of differences in vulnerability to photosynthetic rate decrease under monochromatic red light. In order to properly check the previous hypothesis and study the effects of certain narrow light spectra (such as

LEDs), it is necessary to phenotype (characterize the traits) the diverse cultivars tested under different controlled light environments. Once the phenotypes have been identified, it would be possible to select for the best morphological traits and develop new varieties able to assimilate energy more efficiently than the previous cultivars by breeding or LED systems that match better the photosynthetic capacity of the plant. Hypothetically, it could be possible to develop new cultivars with normal performance even in the absence of blue light, more expensive and complicate to provide than red light. This would be of huge economic importance in case of a major horticultural crop, such as tomato, which also is the most profitable crop in some greenhouse regions (Canaki & Akinci, 2006).

This bachelor thesis has been made inside the frame of a bigger project in which 40 genotypes of tomato plant will be phenotyped after growing for at least three weeks under one of the following 8 LED light environments: 100%R (2 repetitions), 88%R and 12%B, 100%B, White + FR, White + UV-B, White + UV-B + FR, White + UV-B + 4FR (Control), Control + extra R and B. However, due to the time limitations in this BSc thesis, only the two light environment 100% Red and the 88%R/12%B will be tested and explained in the following sections.

4. MATERIALS AND METHODS.

The experimental phase of the BSc thesis consists of two repetitions of a 4 week term experiment, each one consists of 3 smaller phases in order to phenotype the varieties grown under 100% red light and 88% red light/12% blue light environments. After the experimental part there is a data analysis. The 3 phases and the data analysis phase are:

4.1. PLANT MATERIAL GROWTH. CONDITIONS AND LAYOUT OF THE EXPERIMENT.

12 seeds of each of the 40 genotypes of tomato plant (*Lycopersicon esculentum* and close relatives such as *Solanum pimpinellifolium*, see Appendix 2, Tomato Genotypes) were simultaneously sown in potting soil (Horticoop Substraat, Katwijk, The Netherlands) at the beginning in a separated nursery inside the climate chamber in Radix Building, Wageningen University, The Netherlands. Only 38 of the genotypes germinated at least 1 plant and only 26 of those germinated 8 or more seedlings. Temperature and relative humidity in the climate chamber were constant at 25 °C and 70% respectively and were automatically checked with a thermometer and a capacity sensor. Light in the nursery was provided by white LED tubes (Philips, Eindhoven, The Netherlands) for 18 hours per day. During the second repetition and due to germination problems, the genotypes needed to be sown again, in this occasion in Unifarm greenhouse, which also belongs to Wageningen University and the environment conditions were the same. CO₂ concentration is ambient. After one week growing in the nursery or in the greenhouse and when the cotyledons were open, the tomato seedlings

were transplanted into river sand (to facilitate root cleaning) in 10.5 cm (diameter) plastic pots and placed over a work board (150x350 cm and 1.5 m under LED lights arrays). These pots were organized in 8 different concentric blocks according to the Photosynthetic Photon Flux Density (PPFD, with an average intensity of $150 \pm 20 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) existing over the work board, being group 1 the inner block (see Figure 1). The genotype position inside the blocks followed a randomized block design, with one plant per genotype per block. To prevent limit effect (difference in growth between inner blocks and exterior blocks plants due to the competence for the light), another exterior block of tomato plant (moneymaker cultivar), sown and transplanted at the same time as the tested plants, was situated surrounding block 8. From the sowing to the end of the experiment, the nutrient solution was a standard tomato plant solution (pH=5.5 and EC=2.0), premade and provided by Unifarm (check Appendix 1 Nutrient Solution composition). This solution was automatically pumped for 10 minutes every day at 18:00 and flooded the work board with the pots, irrigating them by surface. Spared solution was collected back to the solution tank for reuse.

4.2. LED ENVIRONMENT AND NON-DESTRUCTIVE MEASUREMENTS.

The LED light system (24 LED production modules from Philips, Eindhoven, The Netherlands) was located 1.5 m over the work board and followed a 16h photoperiod, lights on from 9:00 am to 1:00 am and staying the rest of the time in darkness. The peak of emission were 662 nm in the red light and 456 nm in the blue light. The average light intensity was $150 \pm 20 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Each round of tomato plants grew in the LED environment for 3 weeks. The measurements at the end of this phase were performed between 9:30 am and 17:00 to assure fully active plants.

- Stomatal conductance (g_s). Using leaf porometer (SC-1, Decagon Devices, Pullman, WA, USA). It was measured once per plant in a mature leaflet belonging to the newest full developed leaf. The instrument was calibrated and the desiccant replaced before the measurements in order to guarantee the accuracy.
- Pigment analysis. Using Dualex (FORCE-A, Centre Universitaire Paris Sud, Cedex, France) to measure chlorophyll, flavonols and anthocyanin content. The criterion to select the leaf for measuring was the same as for the stomatal conductance.



Picture 1 and Picture 2. View of the climate chamber and detail of the red LED light system.

4.3. HARVEST AND DESTRUCTIVE MEASUREMENTS. SOWING OF THE NEXT ENVIRONMENT PLANTS.

At the end of the third week under the LED light, when all the previous measurements were done, the tomato plants were removed from the plastic pots and cleaned with water in order to remove the river sand attached to the plant. Afterwards, plants crossed through 3 different stations:

- Station 1. Initial screening. It consisted of counting total number of leaves per plant (considering every leaf wider than 1 cm and excluding cotyledons), checking the presence of white spots on the leaves and determining the curvature of the leaves (downwards, upwards and non-curved).
- Station 2. Leaves were cut in order to measure total leaf area with the area meter (model 3100, LI-COR, Lincoln, Nebraska USA). Stems (cotyledons were considered part of the stem and kept together during the whole phase) and roots were kept together while measuring plant height (distance from shoot apex to the beginning of the roots) and root length (distance from the first root to the farthest root tip). Distances were measured with a measure tape. After this, stem and root were splitted at their junction and each plant component was weighed (fresh weight) with electronic balance (Henk Maas, Veen, The Netherlands) and distributed in separated labeled aluminum trays.
- Station 3. All plant parts were dried in ventilated ovens (Westeneng Ovenbouw, Zwarteboek, The Netherlands) for 48 hours at 105 °C in Unifarm. After

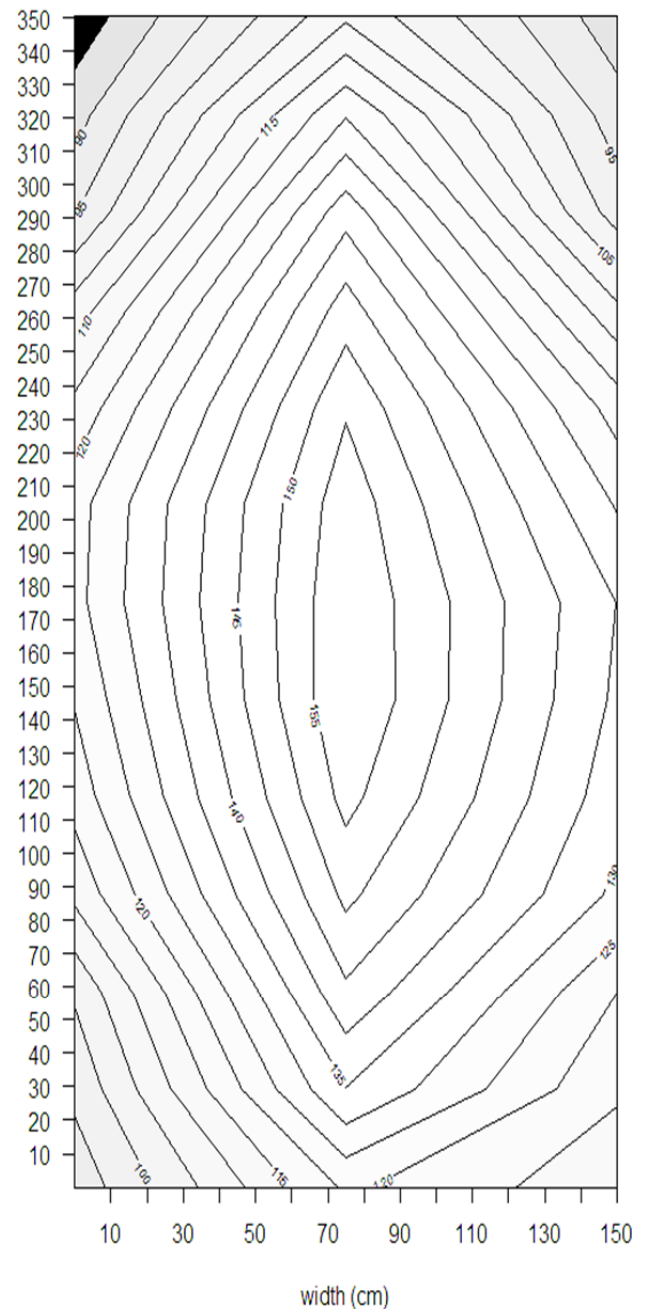
constant weight was reached, plant components were weighed (dry weight) with electronic balance (Sartorius GMBH Gottingen, Germany) and finally discarded when the procedure was done. In order to start as soon as possible with the following environment, new seed were sown as soon as the destructive measurements were done.

4.4. DATA COLLECTION AND STATISTICAL ANALYSIS.

SPSS (release 22.0.01, IBM, Armonk, New York USA) was used to carry out the statistical analysis. T-test ($P < 0.05$) was used to compare mean values from the results.

As this bachelor thesis was developed inside the frame of the “LED it be 50%” project, most of the genotype information belongs to the enterprises that invested in the project and therefore is not allowed to be published. For this reason, only 9 genotypes were chosen to show representative differences caused by spectral control. These genotypes (Tomato Gene Database, 2015) were: G1 (*Solanum lycopersicum* ‘Momotaro’, Accession ID: TR00003), G2 (*S. lycopersicum* ‘Rote Beere’, ID: EA01965), G3 (*S. lycopersicum* ‘Colombia’, ID: EA04710), G4 (*S. lycopersicum* ‘Cal J TM VF’, ID: EA02054), G5 (*S. pimpinellifolium* L., ID: EA00674), G6 (*S. habrochaites*, ID: TR0017), G7 (*S. lycopersicum* ‘Watermelon Beefsteak’, ID: EA01640), G8 (*S. lycopersicum*, ‘Ceraciforme’, ID: TR00027), and G9 (*S. lycopersicum* ‘ABC Potato Leaf’, ID: EA05721). In order to facilitate the process, the fresh and dry weights were considered in total weights (fresh and dry) per plant instead of taking into account each part (stem, leaves, roots) separately.

					308	317								
			307	286	249	243	314	288*						
		283	292	241	174	168	271	289	287					
	300	301*	248*	262	185*	164	267	242	305*	315	313			
318	299	263	278	177	194	170	191	260	247	311	309			
293*	x	250	166	150	138	123	147	180	253*	259	316			
285	264	x	156	122	158	131	124	159	186	261	254			
256	196	128*	142	104	42	51	96	136	155	181	279*			
163	129	144	103	108	49	50	95	107	125	130	188			
197	x	154	97	74	43	73	65	113	121	126	179			
178	220	85	44	69	27	10	60	72	106	231	198			
216	230	81	54	8	33	14	13	67	93	232	234			
214	239*	115	46	25	29	4	16	061*	99	204	233			
218	222	112	63	19	30	1	36	41	94	205	202			
201	217	92	56	28	5	37	18	71	91	235	203			
212	225*	98	79	32	34	x	31	66	088*	210	211			
238	206	102	64	15	38	23	11	45	105	208*	221*			
219	213*	110	57	6	22	20	3	62	114	237	228			
236	207	84	52	24	2	17	12	48	82	209	215			
x	223	100	53	7	35	9	021*	75	90	227	224			
176	229	86	70	58	39	26	59	76	111	226	182			
161	132	153	118	78	x	47	55	x	141*	143	193			
183	151	133	116	101*	77	68	119	117	149	137	195			
192	189	148	145	83	89	87	109	135	127	190	244			
274	266	187	184	146	139	134	140	171	165	162	270			
x	257	245	199	172	157	152	173*	272	252	255				
	302	258	251	175	169	167	269	276	290	295				
		306	294	268	246	273	275	310	296					
			319*	312	265*	277	303	284						
				297	304	291	298							
					281	282								



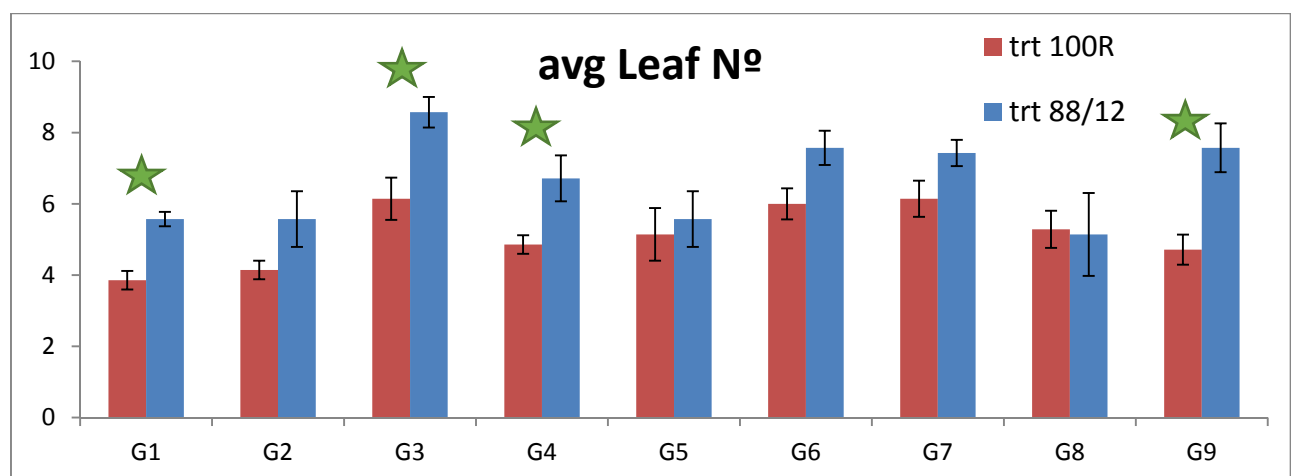
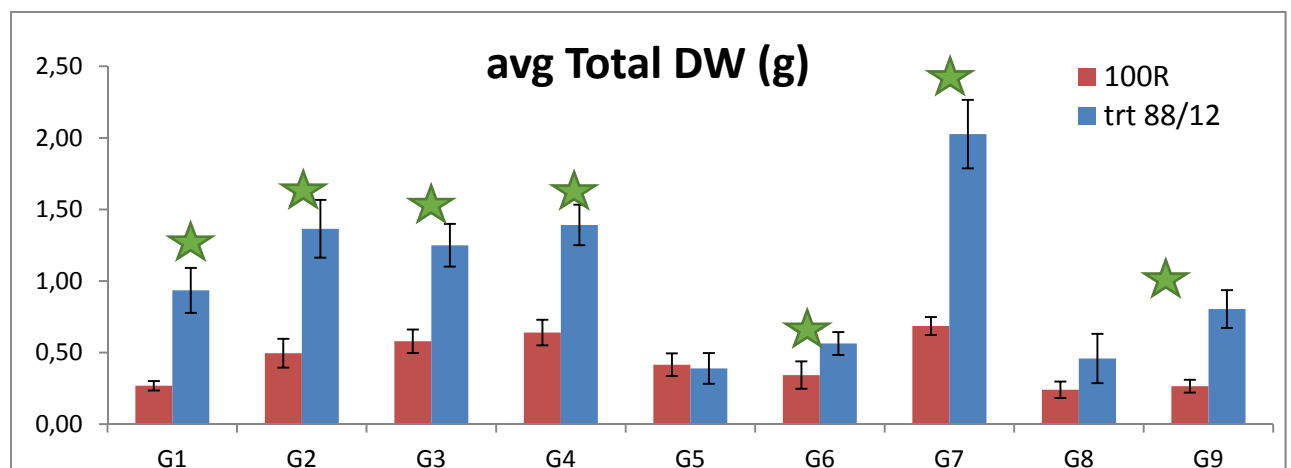
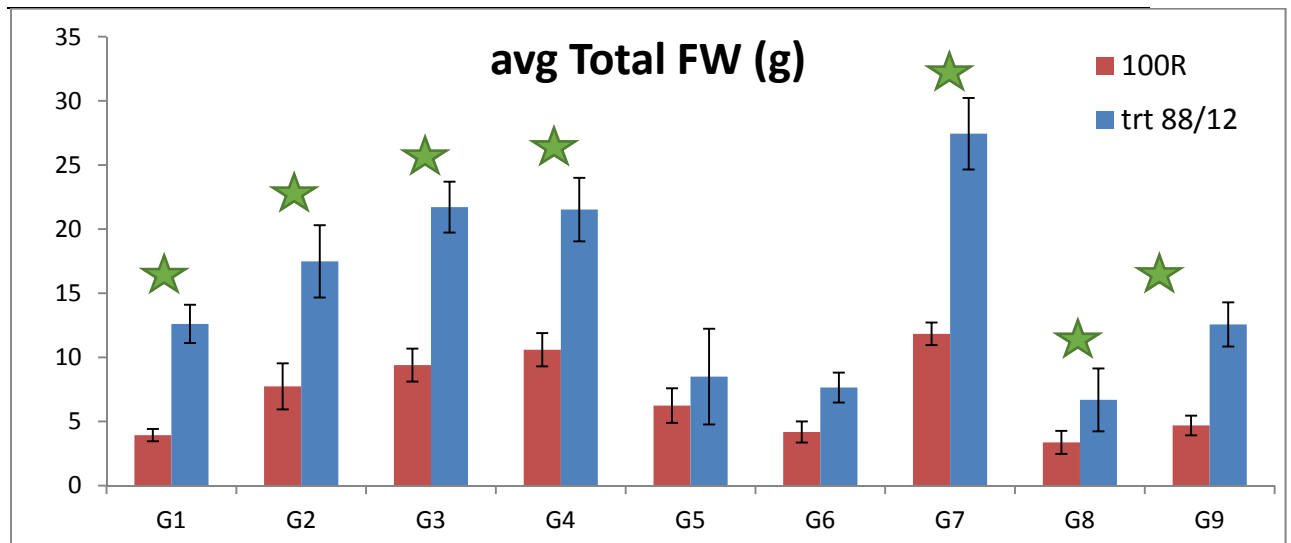
Figures 1 and 2. The left side depicts the distribution of the blocks with all the pot numbers randomly located during the first repetition. The right side shows the distribution of the PPFD in $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ at the assumed canopy height of 25 cm over the board.

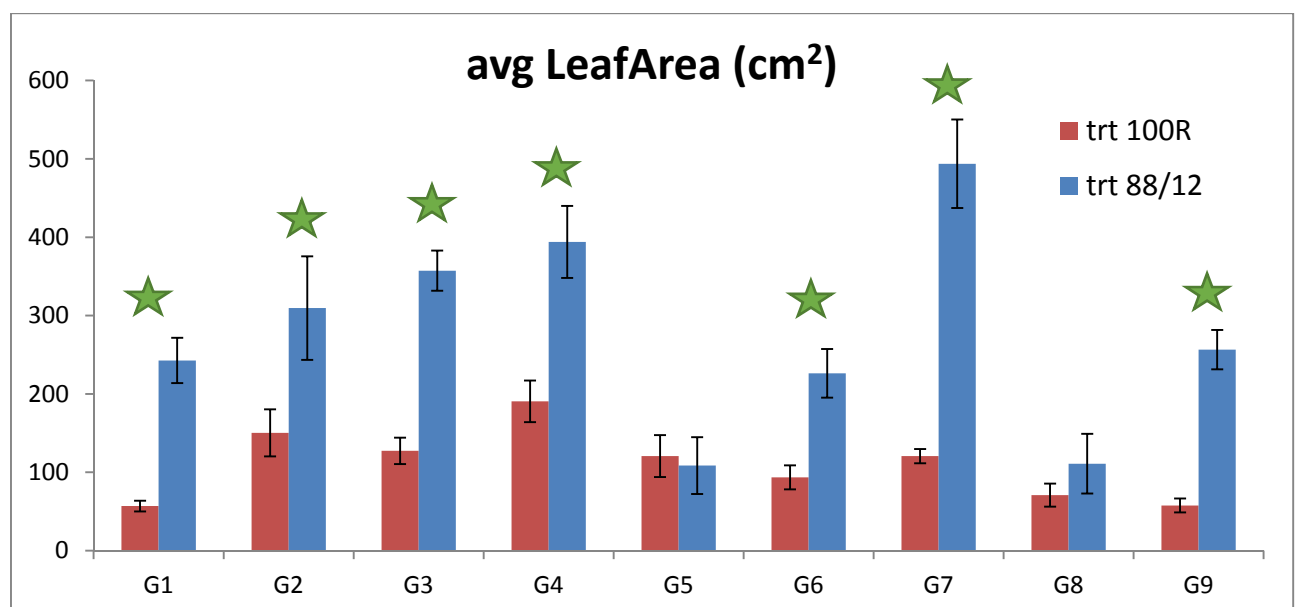
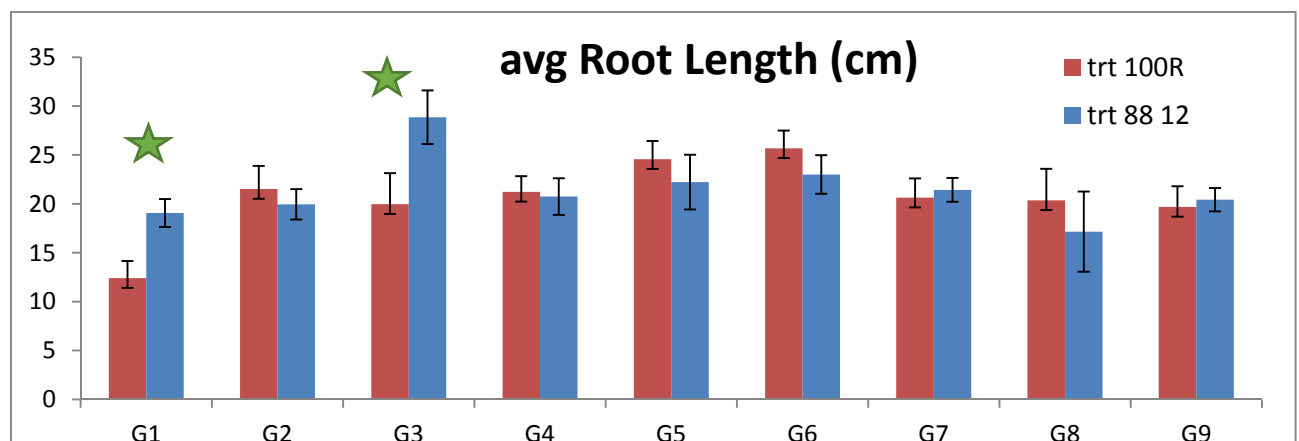
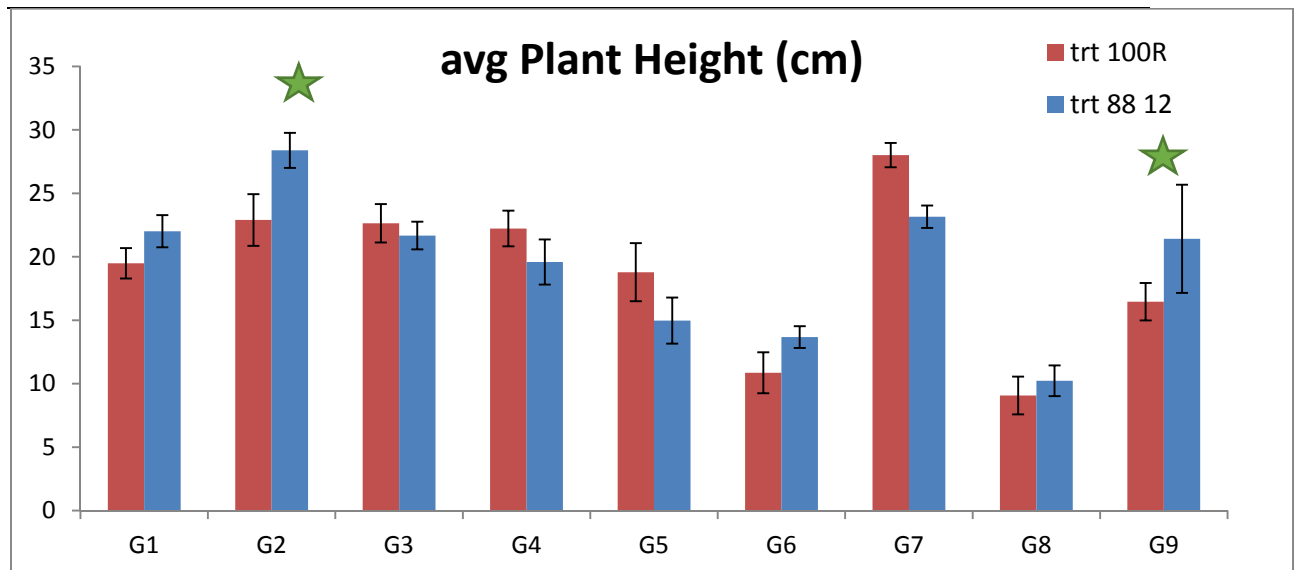
5. RESULTS AND DISCUSSION

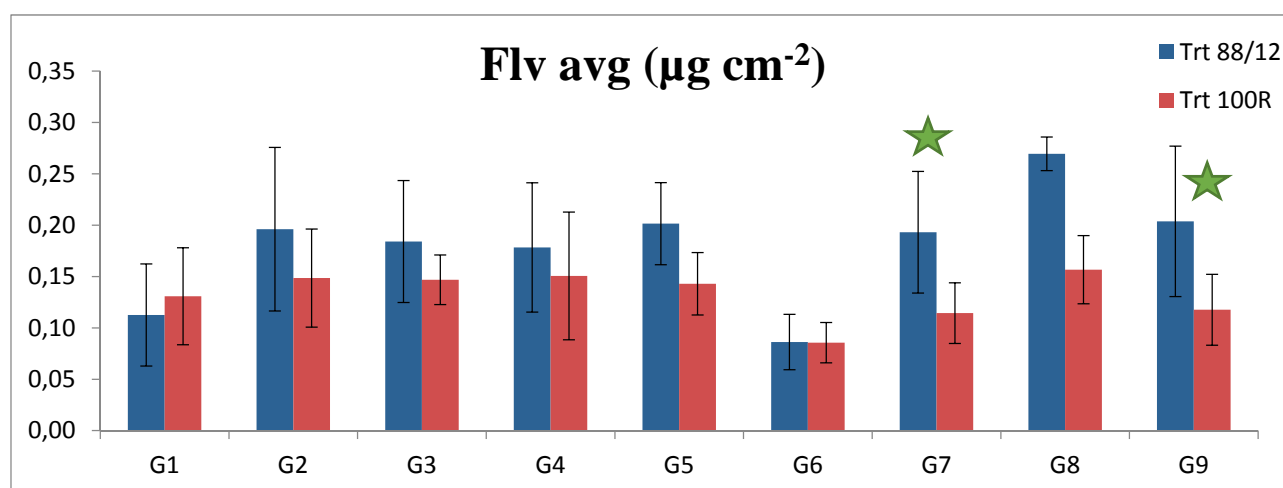
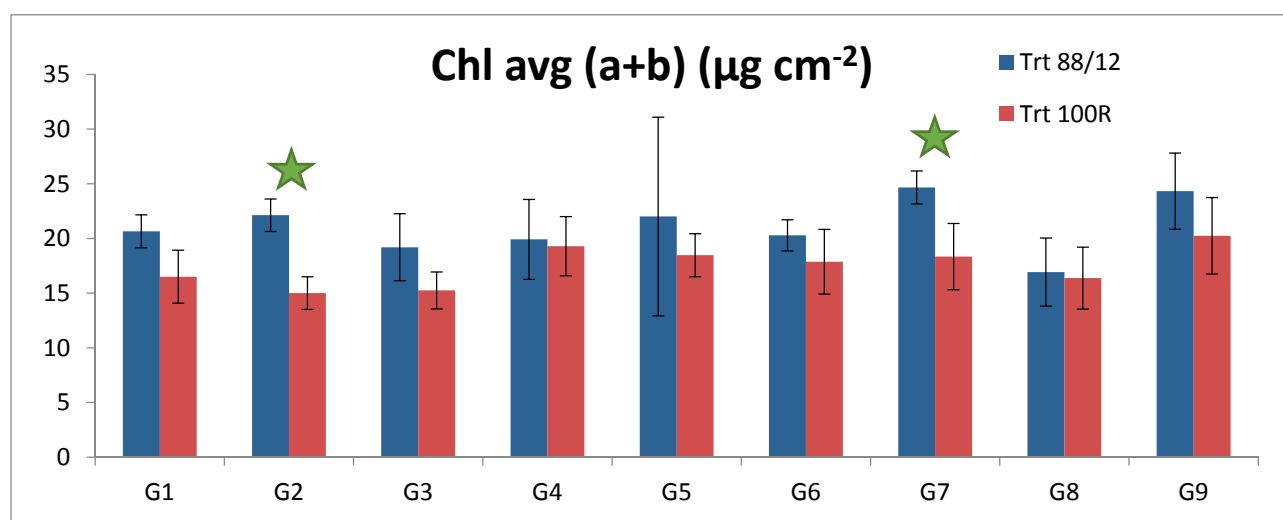
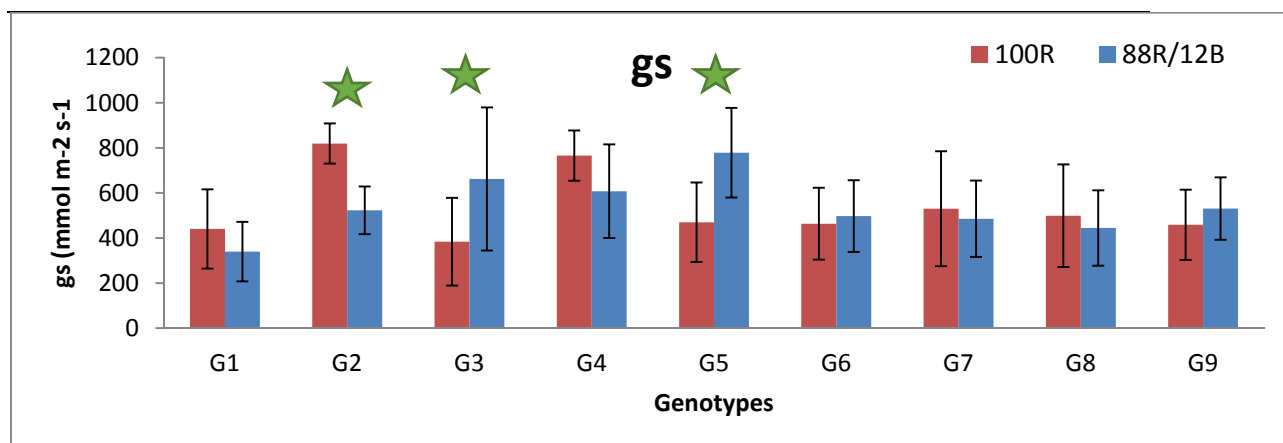
As expected, blue light increased fresh weight in every studied genotype. In some cases, such as G1 it was triplicated, while in G2, G3 G4, G7, G8 and G9 was at least doubled. The results show even bigger rises when comparing dry matter in all genotypes except in G8 and surprisingly G5 even showed less dry matter when the blue light was combined with red light. The average leaf number had an increment in all genotypes when blue light was added with significant differences in G1, G3, G4 and G9. Leaf area had a statistically significant increase in G1, G2, G3, G4, G6, G7 and G9 while G5 showed less leaf area than when the tomato plants grew within the only red light environment. Few significant differences were found comparing plant height and root length, thus making impossible to check the influence of the light spectrum. Stomatal conductance did not seem to be substantially influenced by blue light, presenting only G2, G3 and G4 significant differences between light environments. In general, blue light increased chlorophyll and flavonols content in all genotypes but did not show substantial effects on anthocyanins content. Leaf abnormalities in the form of curling were present in all genotypes (downward in G1, G2, G3, G4, G7 and G9 while in G5, G6 and G8 was upward) when only red light was used but plants grown under blue light (except G8) did not show any downward nor upward leaf curling.

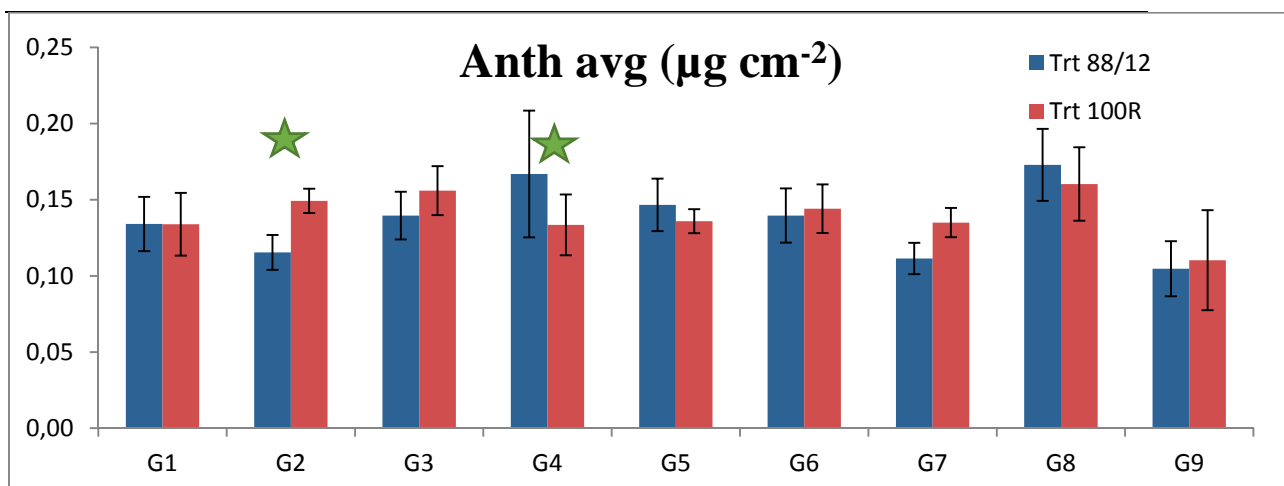
These results suggest that biomass, chlorophyll and flavonol production get enhanced by adding blue light. In addition, blue light greatly increased leaf area and had an important effect on the number of leaves per plant. On the other hand, there was no definitive evidence related to influence in plant height, root length and stomatal conductance, but this should need to be trialled again with higher light intensities to obtain further conclusions. It could be said that blue light turns plant behaviour towards more compact plant, promoting production over elongation. Monochromatic red light caused leaf abnormalities that were practically erased with the adding of blue light. The differences among genotypes highlight cultivar dependence in the response to light environments.

The stars over the mean values (+/-standard error of the mean) indicate statistically significant difference between light treatment and within the genotype at $P < 0.05$.









Appendix 1. Nutrient solution composition.

Tomaat standaard		
pH	5.5	
EC	2,0	mS/cm
NH ₄	1,2	mmol/l
K	7,2	mmol/l
Ca	4,0	mmol/l
Mg	1,82	mmol/l
NO ₃	12,4	mmol/l
SO ₄	3,32	mmol/l
P	1,0	mmol/l
Fe	35,0	μmol/l
Mn	8,0	μmol/l
Zn	5,0	μmol/l
B	20,0	μmol/l
Cu	0,5	μmol/l
Mo	0,5	μmol/l

Appendix 2 Tomato genotypes.

Genotype N°	AccessionID	Species	Accession Name
1	TR0003	Solanum lycopersicum	Momotaro
2	EA01965	S. lycopersicum	Rote Beere
3	EA04710	S. lycopersicum	Colombia
4	EA02054	S. lycopersicum	Cal J TM VF
5	EA00674	S. pimpinellifolium	
6	TR00017	S habrochaites	
7	EA01640	S lycopersicum	Watermelon Beefsteak
8	TR00027	S. lycopersicum	Ceraciforme
9	EA05721	S. lycopersicum	ABC Potato leaf

References:

- Baixauli Soria, C., & Aguilar Olivert, J. M. Cultivo sin suelo de hortalizas: aspectos prácticos y experiencias. (No. C057. 013)., 2002.
- Baudoin, W., Nisen, A., Grafiadellis, M., Verlodt, H., Jiménez, R., De Villele, O., ... & Monteiro, A. «El cultivo protegido en clima mediterráneo. Medios y Técnicas de Producción. Suelo y Sustratos.» 143-182. FAO. Roma., 2002.
- Brazaitytė, A., Duchovskis, P., Urbonavičiūtė, A., Samuolienė, G., Jankauskienė, J., Sakalauskaitė, J., ... & Noviškova, A. «The effect of light-emitting diodes lighting on the growth of tomato transplants.» *Zemdirbyste-Agriculture*, 2010: 89-98.
- Canakci, M., and I. Akinci. «"Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production." » *Energy* 31.8, 2006: 1243-1256.
- Chang, C. L., Hong, G. F., & Li, Y. L. « A supplementary lighting and regulatory scheme using a multi-wavelength light emitting diode module for greenhouse application.» *Lighting Research and Technology*, , 2014: 46(5), 548-566.
- Frechilla, S., Zhu, J., Talbott, L.D. and Zeiger, E. «Stomata from npq1, a zeaxanthinless arabidopsis mutant, lack a specific response to blue light.» *Plant Cell Physiol.* , 1999: 40(9):949-954.
- Gómez, C., & Mitchell, C. A. «Growth Responses of Tomato Seedlings to Different Spectra of Supplemental Lighting. » *HortScience*, 2015: 50(1), 112-118.
- Hernández, J. C. L., & Parra, J. P. «Evolución de las estructuras de invernadero. , » *Plasticulture: Revue du CIPA= Journal of CIPA*, 2006: (125), 8-17.
- Hershey, D. R. «Plant Light Measurement & Calculations.» En *The American Biology Teacher*, 53(6), 351-353. 1991.
- Higashide, T., & Heuvelink, E. . «Physiological and morphological changes over the past 50 years in yield components in tomato. » *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2009: 134(4), 460-465.
- Hogewoning, S. W., Douwstra, P., Trouwborst, G., Van Ieperen, W., & Harbinson, J. «An artificial solar spectrum substantially alters plant development compared with usual climate room irradiance spectra.» *Journal of experimental botany*, 2010: 61(5),1267-1276.
- Hogewoning, S. W., Trouwborst, G., Maljaars, H., Poorter, H., van Ieperen, W., & Harbinson, J. « Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light.» *Journal of experimental botany*, 2010: 61(11), 3107-3117.
- Hogewoning, S. W., Wientjes, E., Douwstra, P., Trouwborst, G., van Ieperen, W., Croce, R., & Harbinson, J. «Photosynthetic quantum yield dynamics: from photosystems to leaves. » *The Plant Cell*, , 2012: 24(5),1921-1935.
- Jensen, Merle H., y Alan J. Malter. «Protected agriculture : a global review.» no. WTP 253. Washington, D.C. : The World Bank., 1995.
- Julė Jankauskienė, Aušra Brazaitytė and Pranas Viškelis. «Effect of Different Growing Substrates on Physiological Processes and Productivity in soilless tomato culture.» En "*Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops*",.. 2015.
- Massa, G. D., Kim, H. H., Wheeler, R. M., & Mitchell, C. A. « Plant productivity in response to LED lighting.» *HortScience*, 2008: 43(7), 1951-1956.
- Ménard, C., Dorais, M., Hovi, T., & Gosselin, A. « Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. » *InV International Symposium on Artificial Lighting in Horticulture*. (2005, June). 711 (pp. 291-296).
- Montero, J. I. « Desarrollo de estructuras para invernaderos.» *Cuadernos de estudios agroalimentarios*,, 2012: (3), 45-70.
- Morrow, R. C. «LED lighting in horticulture.» *HortScience*, 2008: 43(7), 1947-1950.
- Morrow, R. C., & Tibbitts, T. W. «Evidence for involvement of phytochrome in tumor development on plants.» *Plant physiology*, 1988: 88(4), 1110-1114.
- Neil Mattson, Associate Professor and Floriculture Extension Specialist. «<http://www.greenhouse.cornell.edu/structures/factsheets/Greenhouse%20Lighting.pdf>» Mayo de 2016.
- NurzyĖski, J. «Yield and quality of greenhouse tomato fruit grown in rape straw substrates.» 2013.

Ouzounis, T. (Doctoral dissertation, SDUSDU, Det Tekniske FakultetFaculty of Engineering, Institut for Kemi-, Bio-og Miljøtek. *Spectral effects of light-emitting diodes on photosynthetic characteristics and secondary metabolism in greenhouse plants* . (Doctoral dissertation, SDUSDU, Det Tekniske FakultetFaculty of Engineering, Institut for Kemi-, Bio-og MiljøteknologiInstitute of Chemical Engineering, Biotech and Environmental Technology, 2014.

Ouzounis, T., Parjikolaie, B. R., Fretté, X., Rosenqvist, E., & Ottosen, C. O. «Predawn and high intensity application of supplemental blue light decreases the quantum yield of PSII and enhances the amount of phenolic acids, flavonoids, and pigment in *Lactuca sativa*.» *Frontiers in plant science*, 6., 2015.

Sager JC, McFarlane, JC (1997). In: Langhans RW, (eds.). *Plant growth chamber handbook, Radiation*. Iowa Agriculture and Home Economics Experimental Station Special Report no. 99. North Central Region Research Publication No. 340. Iowa State Univ: Tibbits TW , 1997.

Smith, H. «Phytochromes and light signal perception by plants—an emerging synthesis.» *Nature*, 2000: 407(6804), 585-591.

Van Ieperen, W. «Plant morphological and developmental responses to light quality in a horticultural context.» *In VII International Symposium on Light in Horticultural Systems*. 2012. 956 (pp. 131-139).

Van't Ooster, A., Heuvelink, E., Stanghellini, C., Van Henten, E. & Herderman, F. *Greenhouse technology*. Wageningen University, 2015.

Von Elsner, B., et al. «"Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union Countries, Part II: typical designs."» *Journal of agricultural engineering research* 75, n° 2 (2000): 111-126.

Von Elsner, B., et al. «"Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I, design requirements."» *Journal of Agricultural Engineering Research* 75, n° 1 (2000): 1-16.

Watanabe, H. «Light-controlled plant cultivation system in Japan-development of a vegetable factory using LEDs as a light source for plants.» *In VI International Symposium on Light in Horticulture*. 2009. 907 (pp. 37-44).

Yeh, N., & Chung, J. P. «High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation.» . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009: 13(8), 2175-2180.

ANEJO Nº 5.- INGENIERÍA DEL DISEÑO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. ILUMINACIÓN	3
2.1. LEDs superiores	4
2.2. LEDs interiores.....	6
3. CONTROL	8

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Comparativa entre varios sistemas de iluminación HPS y uno superior LED.....	4
Imagen 2. Disposición de las nuevas luminarias sobre la planta de las cabinas del invernadero. Los rectángulos azules son las situadas por encima de las plantas y las moradas las situadas entre las plantas. 4	4
Imagen 3. Enganches para los módulos LED superiores.	5
Imagen 4. Luminaria GreenPower LED toplighting	5
Imagen 5. Dimensiones de los módulos superiores GreenPower LED.	5
Imagen 6. Tipos de conexiones entre módulos GreenPower LED.	6
Imagen 7. Ejemplo de una doble distribución superior e interior.....	7
Imagen 8. Luminaria GreenPower LED interlighting con enganche.	7
Imagen 9. Luminaria suspendida GreenPower LED interlighting	7
Imagen 10. Esquema del sistema de control.....	9
Imagen 11. Ejemplo de control de iluminación con el autómata, el ordenador, los drivers, la iluminación, los sensores (no presentes en éste proyecto) y los conectores.	10

1. INTRODUCCIÓN

Las lámparas LEDs pertenecen a la llamada “iluminación de estado sólido” (SSL por sus siglas en inglés), esto se debe a que la luz es emitida por un semiconductor que es un objeto sólido, sin intervención de gases como las lámparas fluorescentes, de descarga o incandescentes. Estos pequeños dispositivos están formados por un chip de un material semiconductor con impurezas y emiten en un estrecho espectro de emisión. Su funcionamiento se basa en un paso cruzado por una corriente unidireccional de electrones. Al saltar esta sinapsis, los electrones caen a un nivel energético inferior y emiten la diferencia de energía causada por las impurezas en forma de luz, ya que el color (la longitud de onda) está condicionada por la diferencia de energía (Yeh 2009). De esta manera, controlando la composición del material del diodo, los LEDs permiten la selección de una estrecha banda del espectro electromagnético, y mediante la combinación de varios LEDs se permite el control espectral (Van Ieperen 2012), pero esta no es su única ventaja. En comparación con las HPS y las FT los LEDs producen muy poco calor radiante, permitiendo la instalación de las lámparas mucho más cerca de la planta sin quemarla, unos tiempos de encendido y reencendido inapreciables, una vida útil con varias decenas de miles de horas por encima del siguiente tipo de lámpara, menos peligro gracias a la ausencia de cristal y gases tóxicos o contaminantes, un riesgo de incendios o quemaduras más pequeño o una cantidad de radiación proporcional a la potencia consumida (Morrow 2008). Estas características hacen posible instalar LEDs cerca del follaje o ajustar la luz emitida de acuerdo con la sensibilidad de los fotorreceptores, adecuando la energía consumida al momento, lugar y cantidad necesarias; y de esta manera ahorrar dinero (Gómez 2010). A pesar de esto, las FTs y las HPS son aún los únicos sistemas de lámparas extendidas en los invernaderos para producción, principalmente debido al elevado precio y al relativamente complejo conocimiento técnico necesario para la producción e instalación de paneles de luces LED. Este problema es especialmente importante en el caso de las longitudes de onda más energéticas y cortas, las luces ultravioleta y azules. Por otra parte, en los últimos años se han hecho grandes mejoras técnicas, facilitando cada año la producción de instalaciones LEDs más grandes a un precio menor y con mejor rendimiento. Como resultado de este proceso, se ha previsto que los LEDs dejarán de limitarse a la investigación a pequeña escala para convertirse en el sistema de iluminación principal de la horticultura.

Siguiendo este camino se encuentran varias líneas de investigación con el objetivo de mejorar las “fábricas de plantas” (plant factories). Este tipo de explotaciones surgieron en Japón en la década de los 90. En ellas se prescinde de la luz solar y se utilizaban tubos fluorescentes durante las primeras fases del desarrollo de la planta antes de que fuera trasplantada. Sin embargo en la mayor parte de las nuevas plant factories los LEDs son el único sistema de iluminación, permitiendo un control aun mayor de la

fotomorfología vegetal en el ambiente productivo durante todo el ciclo de vida de la planta (Watanabe 2009).

2. ILUMINACIÓN

En el Anejo N°6 se justifica el cálculo y selección de las luminarias adoptadas en este proyecto. En el Documento N° 2 se representa la disposición de las mismas dentro de cada cabina.

Las lámparas LEDs se han proyectado en todas las cabinas para instalarse en luminarias con forma de barra y en dos disposiciones distintas: un alumbrado superior con 28 luminarias (4 columnas 7 filas) y un alumbrado interior o intermedio colocado entre las plantas para aumentar la iluminación y a la vez permitir una distribución más homogénea de la luz a lo largo de toda la altura de la planta cuando la intercepción de las capas altas de vegetación reste eficacia a la iluminación superior. Esta iluminación interior se divide a su vez en dos módulos según la altura respecto al plano de trabajo con 20 luminarias cada uno en forma de espaldera vertical.

En comparación con el modelo de las lámparas HPS instalado en el invernadero de investigación del proyecto, los módulos LED situados por encima de las plantas tienen una menor intercepción de luz y un consumo hasta un 42% menor para un nivel luz equivalente. A pesar de ser los LEDs cualitativamente mejor en todos los aspectos desde el punto de vista de la producción (salvo en el precio de compra), en principio no se van a retirar las lámparas HPS del invernadero. Esto se debe a que dado que no se puede eliminar completamente la radiación solar, es interesante profundizar en investigaciones sobre el espectro resultante de mezclar ambos sistemas de iluminación. Gracias a la capacidad de controlar el espectro combinando dichos tipos de luminarias LEDs y las lámparas de sodio, este sistema de iluminación alcanza una altísima capacidad de control en el desarrollo vegetal, tanto en lo relativo a fotosíntesis, fotoperiodo o fotomorfogénesis.

Tras contactar con varias compañías productoras de módulos LED (Hortilux, Sylvania, Philips, Panasonic, etc) el proyectista se decide por los modelos GreenPower LED toplighting y interlighting modificados según sus especificaciones para proporcionar luz con un mayor porcentaje de azul. Las distintas composiciones espectrales son en porcentaje (%) 50rojo/50azul en los LEDs superiores y 80rojo/20azul en los interiores. A esto hay que sumarle el espectro emitido las HPS, que contiene alrededor del 95% de rojo y amarillo y un 5% azul.

Mediante el sistema de control se puede controlar todas las luminarias y mallas de cada cabina, siendo posible programar fotoperiodos, composición espectral, sectorización de cada cabina en distintos ambientes o intensidades. Gracias a la división de las nuevas luminarias en 17 circuitos según su localización se pueden crear numerosos ambientes lumínicos dentro de cada cabina. Al igual que en el experimento

explicado en el Anejo N° 4, la falta de homogeneidad en la distribución de la luz se puede compensar al clasificar en bloques distintos a sectores de cada cabina con condiciones lumínicas similares.

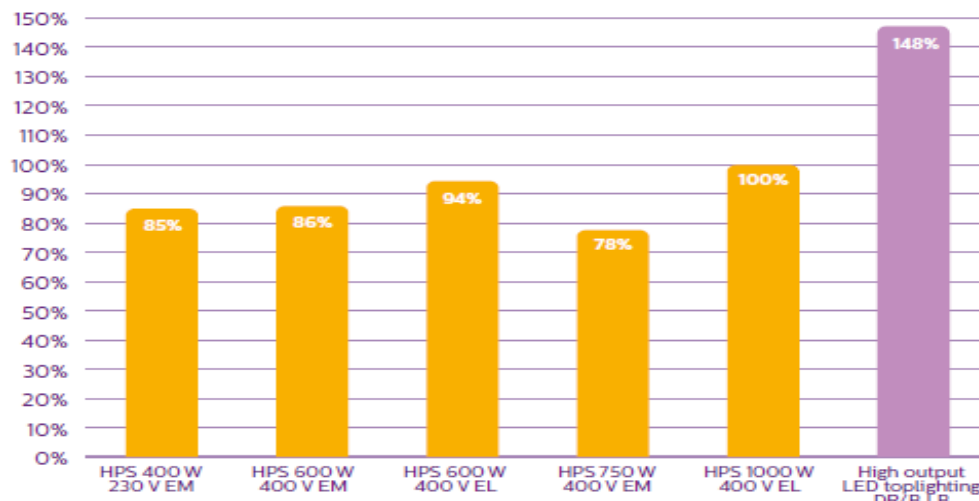


Imagen 1. Comparativa entre varios sistemas de iluminación HPS y uno superior LED

Fuente: Página oficial de Philips



Imagen 2. Disposición de las nuevas luminarias sobre la planta de las cabinas del invernadero. Los rectángulos azules son las situadas por encima de las plantas y las moradas las situadas entre las plantas.

2.1. LEDS SUPERIORES

El proyecto considera para esta sección la instalación de 28 luminarias superiores sin difusor para cada cabina del invernadero, repartidos en 4 filas de 7 luminarias cada una (Imagen 2). Las 28 luminarias con una emisión de fotones unitaria de $520 \mu\text{mol/s}$, emiten un total de $14.560 \mu\text{mol/s}$, cantidad superior a los $14289,70$ necesarios según el método de factor de utilización, por lo que se considera un diseño correcto.

El tipo de luminaria proyectado es uno diseñado para operar en una posición por encima de la cubierta vegetal y ha sido desarrollado por la compañía holandesa Philips bajo el nombre de GreenPower LED toplighting (Imagen 4) aunque en este caso ha sido modificado para satisfacer las especificaciones del proyectista. La potencia unitaria por módulo es 190 W. Los módulos se suspenden de unos enganches (Imagen 4) que se agarran a un entramado metálico que aguanta las lámparas HPS y que permite una gran variedad de disposiciones. La luminaria es estanca y tiene una consideración IP 66. De los LEDs situados en la parte superior de cada cabina, la mitad son rojos con un pico alrededor de los 660 nm y la otra mitad azules con un pico entorno a los 450 nm. Las luminarias se conectan mediante cables (Imagen 6) formando 7 circuitos que se corresponden con las filas de 4 luminarias cada una. Esta disposición no está tan condicionada como los módulos interiores por la posición de las mesas y emite a toda la superficie de la cabina excepto a la zona de la puerta.



Imagen 4. Luminaria GreenPower LED toplighting comercial.

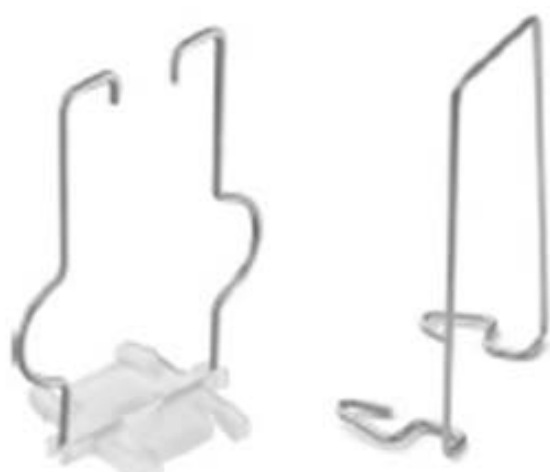


Imagen 3. Enganches para los módulos LED superiores.

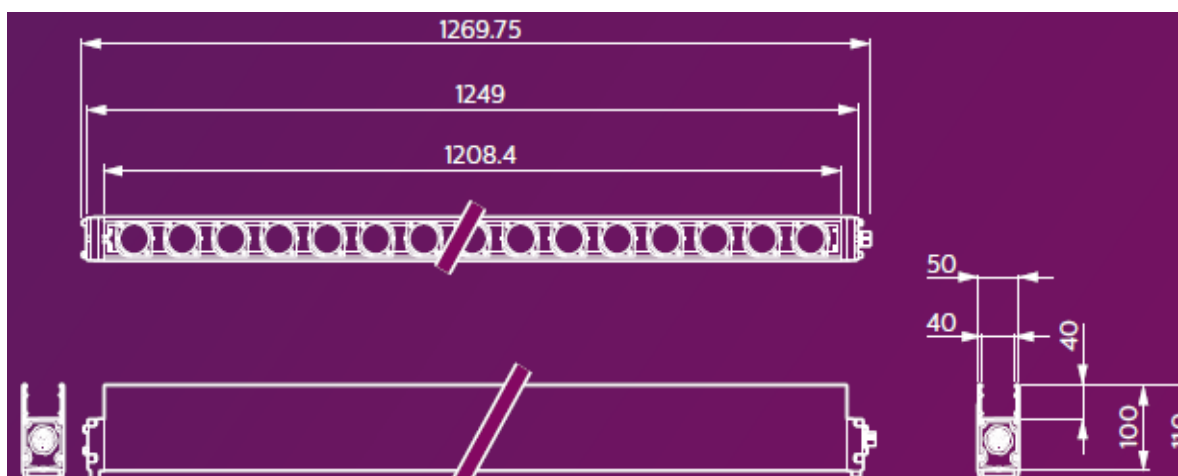


Imagen 5. Dimensiones (en mm) de los módulos GreenPower LED toplighting.



Imagen 6. Tipos de conexiones entre módulos GreenPower LED.

2.2. LEDs INTERIORES

En el proyecto se contempla la instalación de 20 luminarias a colocar en la mitad inferior de las plantas, para aportar el flujo lumínico necesario cuando éstas adquieran una altura tal que la iluminación suspendida del techo no sea efectiva debido a la intercepción de luz por la cubierta vegetal. Esta fila de luminarias aportará los fotones necesarios a la mitad inferior de las plantas. Para la mitad superior, se establecerá otra distribución idéntica, con otras 20 luminarias que se rigen por los mismos cálculos de diseño. Se trata de una distribución en doble línea que junto con la iluminación superior quedaría parecida a la Imagen 7. Esta parte del sistema de iluminación se encuentra muy condicionada por la distribución de las mesas de trabajo; solo emite a las plantas situadas en a ambos lados de cada módulo, y solo a la mitad que se encuentra orientada hacia la luz. Esto por una parte hace imposible la uniformidad en toda la cabina, aunque por otra permite la creación de muchos ambientes lumínicos y la consecuente sectorización en bloques para permitir el estudio de las respuestas de las plantas.

El tipo de luminaria para la instalación en el interior de las plantas también ha sido diseñada por Philips bajo el nombre de Luminaria GreenPower LED interlighting, aunque se ha modificado su composición espectral para aumentar la luz azul emitida (hasta alcanzar el 20%). Su soporte puede ser una estructura metálica que se acople a las mesas o suspendidas del techo mediante enganches (Imagen 9). La luminaria es estanca y tiene una consideración IP 66. La composición del espectro que emiten está condicionada por los LEDs del módulo, que en este caso son un 80% rojos (con pico en 660 nm) y el 20% restante azules (con un pico entorno a los 450 nm). Cada módulo tiene una potencia de 105 W y una emisión de 220 $\mu\text{mol/s}$ (por cada lado del módulo).

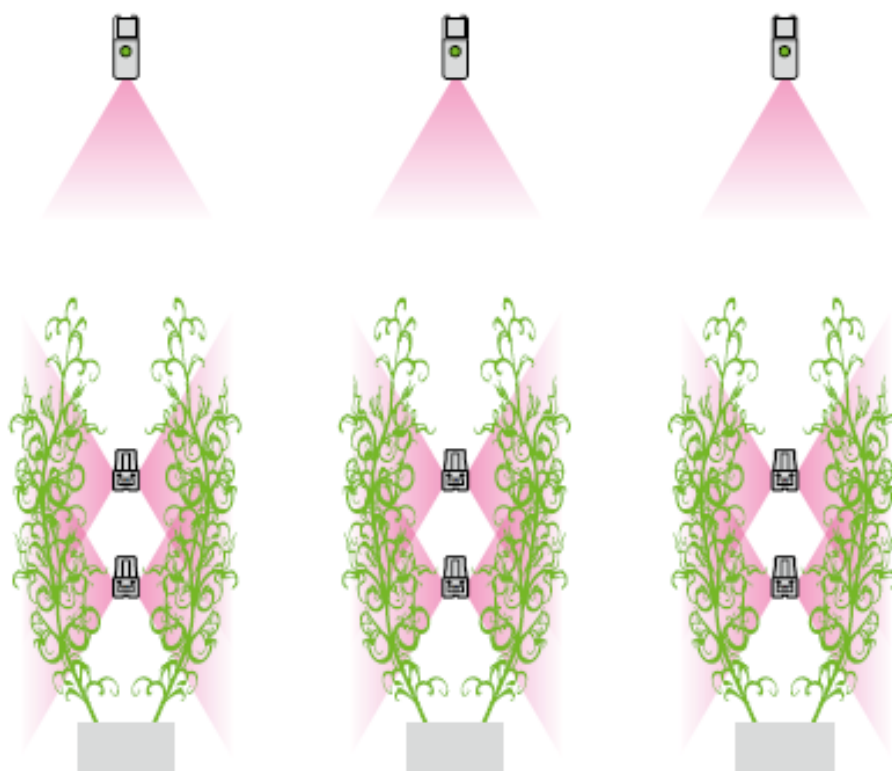


Imagen 7. Ejemplo de una doble distribución superior e interior.

Product	Dimensions in mm			
	Length (A)	Width (B)	Height 1 (C1)	Height 2 (C2)
GreenPower LED interlighting module DR/B (deep red/blue)	2491	48	76	33.8

Imagen 8. Luminaria GreenPower LED interlighting con enganche.



Imagen 9. Luminaria suspendida comercial GreenPower LED interlighting

3. CONTROL

El seguimiento y control de las instalaciones del invernadero está gobernado en la actualidad por un sistema de control, que recoge el estado de las señales digitales y analógicas procedentes de la instalación e instrumentos, que procesa las instrucciones de acuerdo con lo establecido en el programa de usuario y genera las salidas, transmitiendo esta información al sistema de control central para el procesamiento de la información obtenida.

La instalación actual de control e instrumentación del invernadero dispone de:

- Autómata o PLC (controlador lógico programable) modular para el tratamiento de variables analógicas y digitales.
- Ordenador tipo PC para comunicar con el autómata con los objetivos de modificar la programación de procesos y visualizar el estado de las entradas y salida, así como sus diferentes históricos
- Conmutador o switch que interconecta los diferentes dispositivos de la red interna (PLC y ordenador) y externamente a Internet.
- Actuadores de la instalación, como motorreductores de las ventanas cenitales y lateral, humidificadores por pulverización, ventiladores, interruptores del sistema de iluminación, bomba de riego, dispensadores de productos fitosanitario y generadores de aire caliente.
- Sensores para informar al sistema. Actualmente hay instalados en el interior del cada cabina del invernadero sensores de humedad relativa, temperatura y fotoeléctricos (de intensidad y espectro).
- Red o sistema de comunicaciones formado por cables denominados ROV-K 0,6/1 kV entre los sensores y los accionamientos del cuadro eléctrico con el PLC y para conectar el PLC con el ordenador cables USB y ETHERNET.

A la instalación de control e instrumentación hay que añadir la conexión de los nuevos actuadores en el sistema de iluminación y los sensores al PLC.

Se plantea poner un driver en cada circuito de lámparas que permita variar la tensión y mantener la corriente constante. Este driver sería el actuador que regularía la intensidad luminosa emitida por ese circuito. Todos los drivers están conectados por un bus que los conecta a una tarjeta de comunicación DALI (Digital Addressable Lighting Interface) que se ha adjuntado al resto de las tarjetas y la CPU que forman el PLC. Del autómata va un cable Ethernet hasta un ordenador con un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) para para mostrar una interfaz al operario que le permita programar a los actuadores los horarios o condiciones de encendido, la intensidad luminosa y la sectorización de la luz. De esta manera se puede ahorrar energía y aumentar la vida útil de los LEDs. Se ha optado por un driver por línea para dar la flexibilidad necesaria al sistema para crear distintas condiciones de luz

Se ha elegido un bus de comunicaciones por ser un sistema capaz de unir el alto número de drivers por cabina con un único conductor.

Para los sensores lumínicos a añadir se ha decidido poner uno en el centro de cada cabina y conectarlos a la tarjeta de sensores lumínicos preexistente.

Tabla 1. Especificaciones del driver de control de iluminación LED

Driver de corriente constante	
In-AC	230V
OUT-DC	200-400V
Potencia máxima	Alumbrado intermedio 500W Alumbrado superior 1000W
Señal de control	DALI

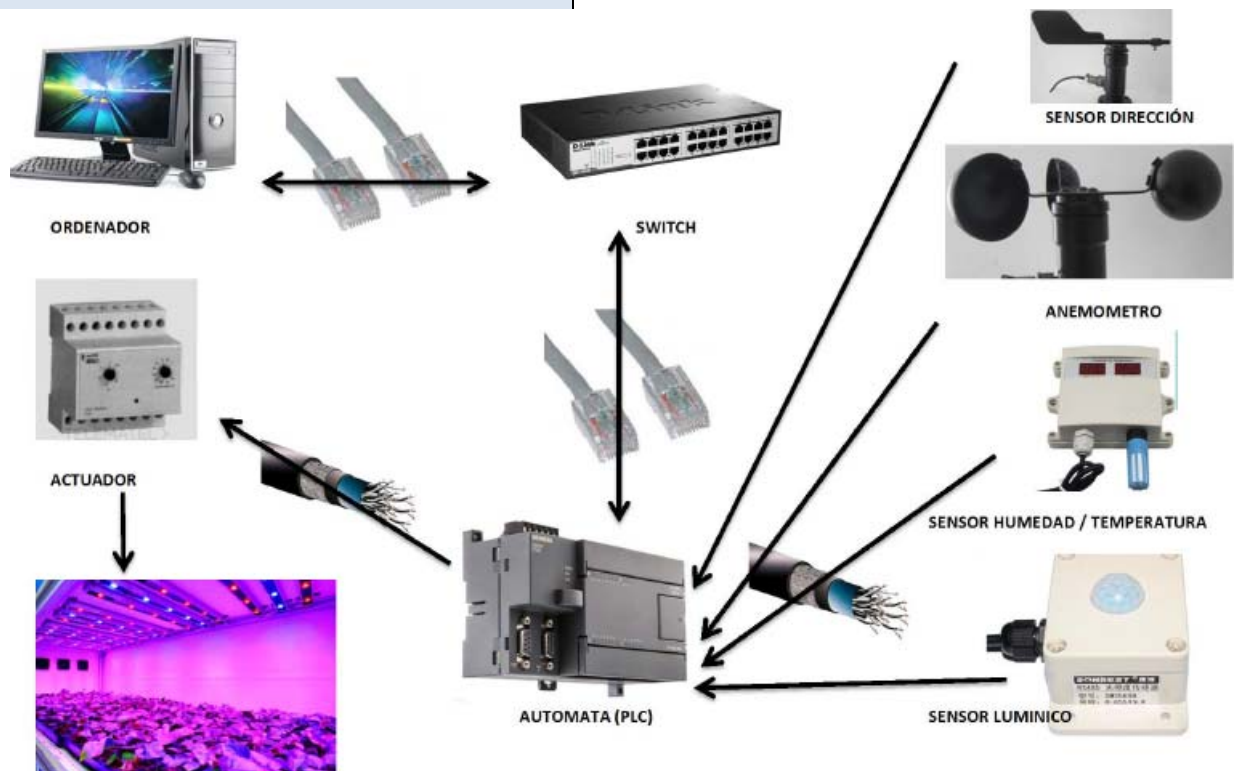


Imagen 10. Esquema del sistema de control.

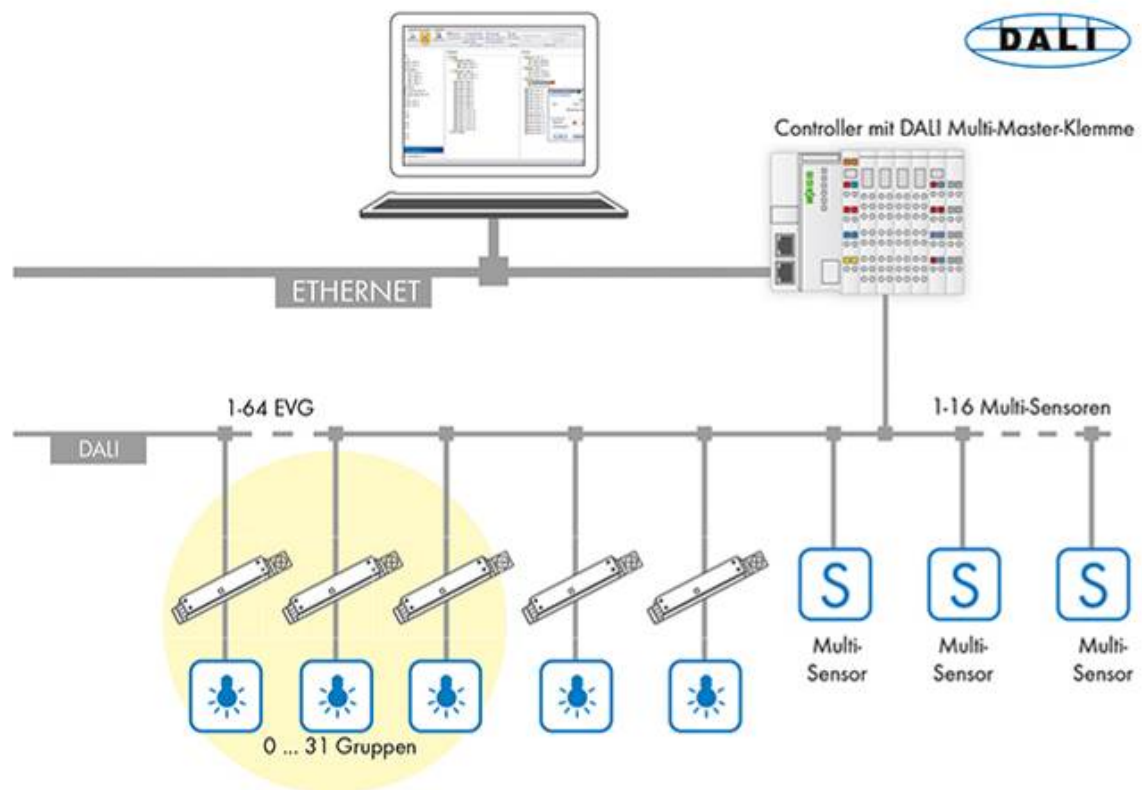


Imagen 11. Ejemplo de control de iluminación con el autómata, el ordenador, los drivers, la iluminación, los sensores (no presentes en éste proyecto) y los conectores.

ANEJO N° 6.- CÁLCULOS DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

ÍNDICE

1.-	INTRODUCCIÓN	2
2.-	METODOLOGÍA DE CÁLCULOS DE ALUMBRADO	2
3.-	DATOS PREVIOS.....	3
4.-	CÁLCULO DEL ALUMBRADO SUPERIOR.....	5
5.-	CÁLCULO DEL ALUMBRADO INTERNO.....	7

1.- INTRODUCCIÓN

El presente anejo pretende justificar el cálculo del número de luminarias necesarias para cumplir el objetivo del proyecto, mediante el cálculo del flujo luminoso total necesario basándose el cálculo según el *método del factor de utilización*.

Este método, también conocido como Sistema General, es una forma práctica y ágil de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado interior, proporcionando resultados con un margen de error pequeño que permiten un diseño lumínico muy aproximado a las necesidades.

2.- METODOLOGÍA DE CÁLCULOS DE ALUMBRADO

Los cálculos necesarios para el diseño de la iluminación interior se realizan de acuerdo al siguiente procedimiento.

A partir de las dimensiones del local y de la forma de montaje de las luminarias, se obtiene en primer lugar el índice del local por la fórmula:

$$K = \frac{a \times b}{h(a + b)}$$

donde:

- K = Índice del local, donde k es un valor comprendido entre 1 y 10.
- A = Longitud
- B = Anchura
- H = Altura útil de la luminaria (distancia de la luminaria al plano de trabajo)

En función del índice del local, factores de reflexión en techo, paredes y suelo, tipo de luminaria y factor de depreciación, se obtiene el rendimiento lumínico en el local, extraído de las curvas o tablas del fabricante de la luminaria.

A continuación se calcula el flujo luminoso necesario por la fórmula:

$$\phi = \frac{E_m \times S}{V \times \mu}$$

donde:

- ϕ = Flujo luminoso necesario en lúmenes
- E_m = Nivel de iluminación proyectado en $\mu\text{mol/s}\cdot\text{m}^2$
- S = Superficie a iluminar en metros cuadrados
- V = Factor de mantenimiento
- μ = Rendimiento lumínico

Después, se obtiene el número de lámparas necesarias, dividiendo el flujo necesario (ϕ) por el flujo de la luminaria (ϕ_1).

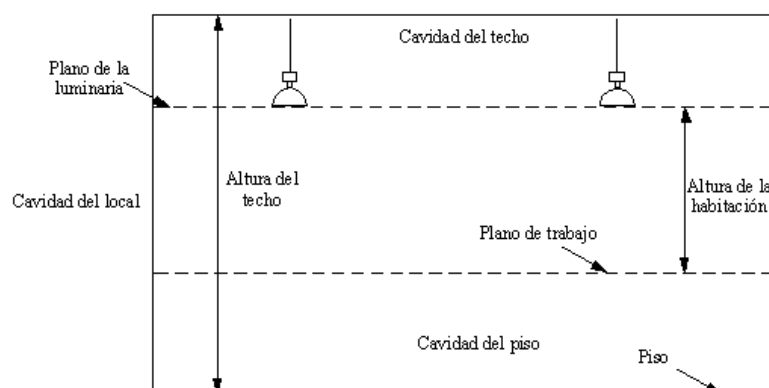
Por último se calcula el nivel de iluminación resultante de acuerdo con el número de luminarias realmente proyectadas por necesidades estructurales o arquitectónicas.

3.- DATOS PREVIOS

En este apartado se exponen todos los datos previos necesarios para resolver los cálculos anteriores:

Uso del local: como se expone en la memoria, el nivel de iluminancia media necesario “ E_m ” en $\mu\text{mol/s}\cdot\text{m}^2$, correspondiente a esta aplicación hortícola, es de $150 \mu\text{mol/s}\cdot\text{m}^2$. Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local.

Altura del local, plano de utilización y altura útil de la luminaria:



- Para el alumbrado superior se establece lo siguiente:
 - Altura de instalación: 2,1 m (suspendidas del techo)
 - Plano de trabajo: 0,9 m (mesa de plantación)

- Altura útil de la luminaria (distancia de la luminaria al plano de trabajo) $H = 1,2 \text{ m}$
- Para el alumbrado interno se establece lo siguiente:
 - Altura de instalación: $1,3 \text{ m}$ (zona interna media de las plantas)
 - Plano de trabajo: $0,9 \text{ m}$ (altura mesa de plantación)
 - Altura útil de la luminaria (distancia de la luminaria al plano de trabajo) $H = 0,4 \text{ m}$

Geometría del local, se diseñará para una de las cabinas, adoptando los mismos resultados al resto de cabinas idénticas:

- Largo invernadero = 10 m
- Anchura invernadero = $5,5 \text{ m}$
- Superficie una cabina = 55 m^2

Factor de mantenimiento (V): Este coeficiente depende del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de limpieza del local. Se adoptará un factor asimilable a un local limpio, con un ciclo de mantenimiento anual, por lo que se establece un factor de $0,92$.

Coeficiente de reflexión: estos valores se encuentran tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabados. Aunque de forma general, sino se dispone de ellos se toman de la siguiente tabla:

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	Claro	0.5
	Medio	0.3
Paredes	Claro	0.5
	Medio	0.3
	Oscuro	0.1
Suelo	Claro	0.3
	Oscuro	0.1

Un invernadero es una ubicación preferentemente clara, se establece un entorno con 0.7 para techo, 0.5 para las paredes y 0.3 para el suelo.

4.- CALCULO DEL ALUMBRADO SUPERIOR

Cálculo del índice del local (k):

$$K = \frac{a \times b}{h(a + b)}$$


donde:

- A = Longitud = 10m
- B = Anchura = 5,5m
- H = Altura útil de la luminaria (distancia de la luminaria al plano de trabajo) = 1,72m

Se obtiene:


$$K = \text{Índice del local} = 2,087$$

Rendimiento lumínico (μ): a partir del índice del local anterior y los factores de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En las tablas encontramos para cada tipo de luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local. Dada la dificultad de encontrar las tablas de coeficientes de utilización de las luminarias tan específicas del proyecto, se utilizará una tabla genérica: elegimos una luminaria sin difusor con reparto luminoso directo, y el valor de K inmediato superior al obtenido ($K=3$).

REPARTO LUMINOSO	Factor de mantenimiento fm. %	Techo %	70			50			30		
		Parades %	50	30	10	50	30	10	50	30	10
		K	Coeficiente de utilización C _u								
	Abiertos	1	46	43	41	46	43	41	43	41	
	Buena 75	1,2	54	51	49	53	51	48	50	48	
	Medio 70	1,5	59	56	53	58	55	53	55	53	
	Mala 65	2	63	60	57	62	58	57	59	57	
		2,5	65	63	60	65	62	60	62	60	
	Cerrados	3	69	67	65	68	66	64	65	64	
	Buena 80	4	71	69	67	70	68	67	68	66	
	Medio 77	6	73	71	69	72	70	68	69	68	
	Mala 73	8	75	73	71	73	72	71	71	70	
		10	76	75	73	75	73	72	72	71	

REPARTO LUMINOSO	Factor de mantenimiento fm. %	Techo %	70			50			30		
		Parades %	50	30	10	50	30	10	50	30	10
		K	Coeficiente de utilización C _u								
	Abiertos	1	30	25	22	29	25	22	25	22	
	Buena 75	1,2	38	33	30	37	33	29	32	29	
	Medio 70	1,5	44	39	36	43	39	36	38	35	
	Mala 65	2	51	46	42	49	45	41	44	41	
		2,5	55	50	47	54	49	46	48	45	
	Cerrados	3	62	57	53	60	56	52	54	52	
	Buena 80	4	65	61	58	63	60	57	58	56	
	Medio 77	6	68	65	62	66	63	60	61	59	
	Mala 73	8	72	69	66	70	67	65	65	63	
		10	74	72	69	72	70	68	68	66	

REPARTO LUMINOSO	Factor de mantenimiento fm. %	Techo %	70			50			30		
		Parades %	50	30	10	50	30	10	50	30	10
		K	Coeficiente de utilización C _u								
	Abiertos	1	41	39	37	41	39	37	39	37	
	Buena 75	1,2	49	46	45	47	46	44	45	44	
	Medio 70	1,5	54	52	51	53	52	51	52	51	
	Mala 65	2	57	54	53	57	54	53	54	53	
		2,5	59	58	54	59	56	54	56	54	
	Cerrados	3	63	60	59	62	61	58	59	58	
	Buena 80	4	64	63	60	63	62	60	62	61	
	Medio 77	6	65	64	63	64	63	62	63	62	
	Mala 73	8	67	65	64	65	64	64	64	63	
		10	72	67	65	67	65	64	65	64	

REPARTO LUMINOSO	Factor de mantenimiento fm. %	Techo %	70			50			30		
		Parades %	50	30	10	50	30	10	50	30	10
		K	Coeficiente de utilización C _u								
	Abiertos	1	28	23	20	27	23	20	23	20	
	Buena 75	1,2	36	32	28	35	31	28	30	27	
	Medio 70	1,5	43	38	34	41	37	33	36	33	
	Mala 65	2	49	44	40	47	42	39	41	38	
		2,5	54	49	45	51	47	44	45	42	
	Cerrados	3	60	55	51	57	53	50	50	48	
	Buena 80	4	64	60	56	60	57	54	54	51	
	Medio 77	6	67	63	60	63	60	57	56	54	
	Mala 73	8	70	67	64	66	63	61	60	58	
		10	73	70	68	68	66	64	62	61	

REPARTO LUMINOSO	Factor de mantenimiento fm. %	Techo %	70			50			30		
		Parades %	50	30	10	50	30	10	50	30	10
		K	Coeficiente de utilización C _u								
	Abiertos	1	53	51	49	53	51	49	52	51	
	Buena 75	1,2	56	54	53	56	54	53	56	54	
	Medio 70	1,5	58	56	55	58	56	55	57	56	
	Mala 65	2	60	58	57	60	58	57	60	58	
		2,5	62	60	59	61	60	59	61	59	
	Cerrados	3	63	62	60	63	61	60	62	61	
	Buena 80	4	64	63	61	63	62	61	63	62	
	Medio 77	6	65	64	63	64	63	63	63	63	
	Mala 73	8	66	65	64	65	64	63	64	63	
		10	68	66	65	66	65	64	64	64	

REPARTO LUMINOSO	Factor de mantenimiento fm. %	Techo %	70			50			30		
		Parades %	50	30	10	50	30	10	50	30	10
		K	Coeficiente de utilización C _u								
	Abiertos	1	27	22	20	26	22	19	25	22	
	Buena 75	1,2	33	29	26	33	29	25	32	28	
	Medio 70	1,5	38	34	30	38	33	30	37	33	
	Mala 65	2	43	38	35	42	38	34	41	38	
		2,5	46	42	38	46	41	38	44	41	
	Cerrados	3	50	47	43	50	46	43	48	46	
	Buena 80	4	53	50	47	53	49	47	51	48	
	Medio 77	6	55	52	50	54	52	49	53	51	
	Mala 73	8	58	55	53	58	55	53	56	54	
		10	60	57	55	59	57	55	57	56	

Concluimos un factor de utilización $\mu = 0,52$, redondeando a las centésimas.

Calculo del flujo luminoso necesario:

$$\phi = \frac{Em \times S}{V \times \mu}$$

donde:

- E_m = Nivel de iluminación proyectado = $150 \mu\text{mol/s}\cdot\text{m}^2$
- S = Superficie a iluminar en metros cuadrados = $45,57 \text{ m}^2$ (espacio cultivable de una cabina, excluido pasillo de acceso frontal)
- V = Factor de mantenimiento = 0,92
- μ = Rendimiento lumínico = 0,52

Se obtiene:

$$\phi = \text{Flujo luminoso necesario} = 14289,70 \mu\text{mol/s}$$

Por último, evaluamos el número de luminarias necesarias para cubrir el flujo luminoso necesario, redondeadas por exceso:

$$N = \frac{\phi}{\phi_1 \cdot n} = \frac{14289,70 \mu\text{mol/s}}{520 \mu\text{mol/s} \cdot 1} = 27,48$$

donde:

- ϕ_1 = flujo luminoso o potencia radiante de la lámpara = $520 \mu\text{mol/s}$
- n = número de lámparas por luminaria = 1 lámparas

Se establecen **28 luminarias superiores** para cada cabina del invernadero, repartidos en 4 filas de 7 luminarias cada una.

Las 28 luminarias con una emisión de fotones unitaria de $520 \mu\text{mol/s}$, emiten un total de $14.560 \mu\text{mol/s}$, cantidad superior a los $14289,70$ necesarios, por lo que se considera un diseño correcto.

5.- CÁLCULO DEL ALUMBRADO INTERNO

Se sigue el mismo procedimiento adaptándolo a la orientación horizontal que tienen estas luminarias. Se considera una superficie de iluminación vertical de $0.35 \times 7.85 \text{ m}$ que se corresponde con un plano perpendicular a las mesas laterales de cada cabina.

Cálculo del índice del local (k):

$$K = \frac{a \times b}{h(a + b)}$$


donde:

- A = Longitud = 7.85 m
- B = Anchura = 0.35 m
- H = Altura útil de la luminaria (distancia de la luminaria al plano de trabajo) = 0,15m

Se obtiene:

$$K = \text{Índice del local} = 2.23$$

Rendimiento lumínico (μ): igual que el caso anterior, elegimos una luminaria sin difusor con reparto luminoso directo, y el valor de K inmediato superior al obtenido ($K=9$).

REPARTO LUMINOSO	Factor de mantenimiento fm. %	Techo %	70			50			30		
		Paredes %	50	30	10	50	30	10	30	10	
		K	Coeficiente de utilización C _u								
<div>DIRECTO</div> 	<div>Bueno 70</div> <div>Medio 60</div> <div>Malo 50</div>	1	30	25	22	29	25	22	25	22	
		1,2	38	33	30	37	33	29	32	29	
		1,5	44	39	36	43	39	36	38	35	
		2	51	46	42	49	45	41	44	41	
		2,5	55	50	47	54	49	46	48	45	
		3	62	57	53	60	56	52	54	52	
		4	65	61	58	63	60	57	58	56	
		6	68	65	62	66	63	60	61	59	
		8	72	69	66	70	67	65	65	63	
		10	74	72	69	72	70	68	68	66	

Interpolando, concluimos un factor de utilización $\mu = 0.5283$, que posteriormente redondeamos a 0.53.

Calculo del flujo luminoso necesario:

$$\phi = \frac{E_m \times S}{V \times \mu}$$

donde:

- E_m = Nivel de iluminación proyectado = $120 \mu\text{mol/s} \cdot \text{m}^2$
- S = Superficie a iluminar en metros cuadrados = 2.74 m^2 (superficie del plano supuesto de iluminación)
- V = Factor de mantenimiento = 0.92

- μ = Rendimiento lumínico = 0.53

Se obtiene:

$$\phi = \text{Flujo luminoso necesario} = 674.87 \mu\text{mol/s}$$

Por último, evaluamos el número de luminarias necesarias para cubrir el flujo luminoso necesario, redondeadas por exceso:

$$N = \frac{\phi}{\phi_{l \cdot n}} = \frac{674.87 \mu\text{mol/s}}{220 \mu\text{mol/s}} = 3.06$$

donde:

- $\phi_{l \cdot n}$ = flujo luminoso o potencia radiante de la lámpara interna en cada dirección = 220 $\mu\text{mol/s}$

Teniendo en cuenta las dimensiones de las luminarias y las mesas, se ve que 3 es el número máximo de luminarias consecutivas en fila que se pueden instalar en las mesas laterales y 2 en la mesa central y del fondo de las cabinas. Para aumentar el número de planos de iluminación se elige una disposición con dos filas paralelas en cada mesa.

Se establecen **20 luminarias** ($3 \cdot 2 \cdot 2 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 2$) a colocar en la parte interior de las plantas, para aportar el flujo lumínico necesario cuando éstas adquieran una altura tal que la iluminación superior no sea efectiva debido a la intercepción de las hojas superiores. Esta fila de luminarias aportará los fotones necesarios a la mitad inferior de las plantas. Para la mitad superior, se establecerá otra distribución idéntica, con **otras 20 luminarias** que al considerarse un plano de iluminación con las mismas características se rigen por los mismos cálculos de diseño.

ANEJO Nº 7.- CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN

ÍNDICE

1.-	INTRODUCCIÓN	2
2.-	LISTA DE CARGAS: POTENCIA INSTALADA	2
3.-	CÁLCULO DE CONDUCTORES.....	5
3.1	CÁLCULO POR DENSIDAD DE CORRIENTE.....	5
3.2	CÁLCULO POR CAÍDA DE TENSIÓN.....	6
3.3	INTENSIDAD ADMISIBLE.....	8
3.4	CONDUCTORES A EMPLEAR.....	8
3.5	REDES PARA DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN	12
3.5.1	EN BANDEJAS, SOPORTES, PALOMILLAS O DIRECTAMENTE SUJETOS A LA PARED	12
3.5.2	CIRCUITOS CON CABLES EN PARALELO	12
3.6	INSTALACIONES RECEPTORAS	12
3.6.1	SECCIÓN Y TIPOLOGÍA DE CABLES UTILIZADOS.....	12

1.- INTRODUCCIÓN

Se realiza en el siguiente anejo la justificación de las instalaciones eléctricas que alimentarán a las nuevas luminarias LEDs.

Se plantea una instalación con un cuadro general ubicado en la sala de control del invernadero y que alimentará a los cuatro cuadros locales situados en cada uno de las cabinas que se dispone.

Desde cada cuadro local se alimentan a las nuevas luminarias leds, planteándose 7 circuitos de alumbrado para las instaladas en la parte superior y 10 circuitos para las luminarias que se instalen entre las plantas. Cada circuito consta de cuatro luminarias leds.

Con este esquema básico de instalación, el investigador dispondrá de la máxima flexibilidad y cubrir distintas zonas de forma específica.

El presente anejo consta:

- Cálculo de la potencia necesaria para la nueva instalación de acuerdo a una lista de cargas.
- Cálculo de los conductores por densidad de corriente, por caída de tensión y por corriente máxima admisible.

2.- LISTA DE CARGAS: POTENCIA INSTALADA

Se presenta a continuación la nueva lista de cargas tras las obras de remodelación y mejora de las instalaciones eléctrica.

Se ha optado por separar las instalaciones y hacer un cuadro eléctrico local por cada cabina para facilitar las operaciones de mantenimiento y permitir un mayor control por zonas. Asimismo en caso de cortocircuito en cualquiera de las cabinas o circuitos, este no afecta al resto, con lo que el resto de la instalación podrá seguir en funcionamiento.

Se han dispuesto los circuitos de alumbrado de tal manera que cada uno alimenta un máximo de 4 luminarias, posibilitando una gran variedad de escenarios lumínicos.

Cuadro de alumbrado de la cabina nº 1

Nº DEL CIRCUITO	DESIGNACIÓN	EQUIPOS INSTALADOS	EQUIPOS EN FUNCIONAM.	POTENCIA UNITARIA	POTENCIA INSTALADA	POTENCIA SIMULTANEA
		Ud	Ud	kW	kW	kW
	CABINA Nº 1	68,00	68,00		9,52	9,52
A1	Circuito 1 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
A2	Circuito 2 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
A3	Circuito 3 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
A4	Circuito 4 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
A5	Circuito 5 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
A6	Circuito 6 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
A7	Circuito 7 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
A8	Circuito 1 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
A9	Circuito 2 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
A10	Circuito 3 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
A11	Circuito 4 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
A12	Circuito 5 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
A13	Circuito 6 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
A14	Circuito 7 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
A15	Circuito 8 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
A16	Circuito 9 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
A17	Circuito 10 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420

Cuadro de alumbrado de la cabina nº 2

Nº DEL CIRCUITO	DESIGNACIÓN	EQUIPOS INSTALADOS	EQUIPOS EN FUNCIONAM.	POTENCIA UNITARIA	POTENCIA INSTALADA	POTENCIA SIMULTANEA
		Ud	Ud	kW	kW	kW
	CABINA Nº 2	68,00	68,00		9,52	9,52
B1	Circuito 1 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
B2	Circuito 2 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
B3	Circuito 3 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
B4	Circuito 4 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
B5	Circuito 5 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
B6	Circuito 6 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
B7	Circuito 7 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
B8	Circuito 1 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
B9	Circuito 2 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
B10	Circuito 3 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
B11	Circuito 4 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
B12	Circuito 5 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
B13	Circuito 6 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
B14	Circuito 7 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
B15	Circuito 8 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
B16	Circuito 9 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
B17	Circuito 10 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420

Cuadro de alumbrado de la cabina nº 3

Nº DEL CIRCUITO	DESIGNACIÓN	EQUIPOS INSTALADOS	EQUIPOS EN FUNCIONAM.	POTENCIA UNITARIA	POTENCIA INSTALADA	POTENCIA SIMULTANEA
		Ud	Ud	kW	kW	kW
	CABINA Nº 3	68,00	68,00		9,52	9,52
C1	Circuito 1 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
C2	Circuito 2 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
C3	Circuito 3 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
C4	Circuito 4 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
C5	Circuito 5 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
C6	Circuito 6 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
C7	Circuito 7 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
C8	Circuito 1 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
C9	Circuito 2 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
C10	Circuito 3 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
C11	Circuito 4 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
C12	Circuito 5 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
C13	Circuito 6 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
C14	Circuito 7 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
C15	Circuito 8 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
C16	Circuito 9 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
C17	Circuito 10 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420

Cuadro de alumbrado de la cabina nº 4

Nº DEL CIRCUITO	DESIGNACIÓN	EQUIPOS INSTALADOS	EQUIPOS EN FUNCIONAM.	POTENCIA UNITARIA	POTENCIA INSTALADA	POTENCIA SIMULTANEA
		Ud	Ud	kW	kW	kW
	CABINA Nº 4	68,00	68,00		9,52	9,52
D1	Circuito 1 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
D2	Circuito 2 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
D3	Circuito 3 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
D4	Circuito 4 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
D5	Circuito 5 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
D6	Circuito 6 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
D7	Circuito 7 - Alumbrado superior LED	4	4	0,190	0,760	0,760
D8	Circuito 1 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
D9	Circuito 2 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
D10	Circuito 3 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
D11	Circuito 4 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
D12	Circuito 5 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
D13	Circuito 6 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
D14	Circuito 7 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
D15	Circuito 8 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
D16	Circuito 9 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420
D17	Circuito 10 - Alumbrado intermedio LED	4	4	0,105	0,420	0,420

Cuadro general de alumbrado y servicios:

DESIGNACIÓN	POTENCIA UNITARIA	UNIDADES	POTENCIA INSTALADA	POTENCIA SIMULTÁNEA
	Ud	Ud	Kw	Kw
CUADRO GENERAL ALUMBRADO Y SERVICIOS			43,08	43,08
Cuadro local cabina 1			9,52	9,52
Cuadro local cabina 2			9,52	9,52
Cuadro local cabina 3			9,52	9,52
Cuadro local cabina 4			9,52	9,52
Varios	1,00	1,00	5,00	5,00

TOTALES

Nº DE RECEPTORES POR CABINA	68	Ud.
Nº DE RECEPTORES TOTALES EN EL INVERNADERO	272	Ud.
POTENCIA INSTALADA POR CABINA	9,52	kW
POTENCIA INSTALADA TOTAL EN EL INVERNADERO	38,08	kW
POTENCIA INSTALADA PARA SERVICIOS	5,00	kW
POTENCIA INSTALADA TOTAL	43,08	kW

Se ha tenido en cuenta que a la anterior potencia simultánea punta calculada, se le aplica un *factor de funcionamiento* de "1", puesto que es posible que existan momentos donde todas las luminarias estén funcionando a la vez; Las potencias declaradas son nominales y tenemos una potencia en simultáneo de 43,08kW en el invernadero.

Con estos datos, la potencia necesaria para alimentar todo el sistema de iluminación LED a instalar en el invernadero es de 45kW.

3.- CÁLCULO DE CONDUCTORES

Los cables se han calculado por densidad de corriente, por caída de tensión y por corriente máxima admisible.

3.1 CÁLCULO POR DENSIDAD DE CORRIENTE

La intensidad se ha obtenido de las fórmulas:

$$I_n = \frac{K \times P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \alpha} \quad \text{Para líneas trifásicas}$$

$$I_n = \frac{P}{U} \quad \text{Para líneas monofásicas}$$

donde:

- I = Intensidad de corriente en amperios
- K = Coeficiente de carga
 - $K = 1,8$ para lámparas de descarga
 - $K = 1,0$ para las demás cargas
- P = Potencia activa en vatios
- U = Tensión de servicio, en voltios
 - $U = 400 \text{ V}$ para líneas trifásicas
 - $U = 230 \text{ V}$ para líneas monofásicas
- $\cos \alpha = 0,8$

3.2 CÁLCULO POR CAÍDA DE TENSIÓN

La caída de tensión se ha calculado por las fórmulas:

$$\Delta U = \frac{K \times P \times L}{C \times S \times U} \quad \text{Para líneas trifásicas}$$

$$\Delta U = \frac{2 \times K \times P \times L}{C \times S \times U} \quad \text{Para líneas monofásicas}$$

Donde:

- ΔU = Caída de tensión del tramo en voltios
- K = Coeficiente por tipo de carga
 - $K = 1,8$ para lámparas de descarga
 - $K = 1$ para las demás cargas
- P = Potencia activa transportada, en vatios

- L = Longitud de la línea en metros
- C = Conductibilidad del cobre
- S = Sección del conductor de fase en mm²
- U = Tensión entre fases en voltios
 - $U = 400$ V para líneas trifásicas
 - $U = 230$ V para líneas monofásicas

Cálculo de la conductividad del cobre:

$$C = 1/\rho$$

$$\rho = \rho_{20}[1 + \alpha (T - 20)]$$

$$T = T_0 + [(T_{\max} - T_0) (I/I_{\max})^2]$$

Siendo,

- C = Conductividad del conductor a la temperatura T .
- ρ = Resistividad del conductor a la temperatura T .
- ρ_{20} = Resistividad del conductor a 20°C.
 - $Cu = 0.018$
 - $Al = 0.029$
- α = Coeficiente de temperatura:
 - $Cu = 0.00392$
 - $Al = 0.00403$
- T = Temperatura del conductor (°C).
- T_0 = Temperatura ambiente (°C):
 - Cables enterrados = 25°C
 - Cables al aire = 40°C
- T_{\max} = Temperatura máxima admisible del conductor (°C):
 - XLPE, EPR = 90°C

- $PVC = 70^{\circ}C$
- I = Intensidad prevista por el conductor (A).
- I_{max} = Intensidad máxima admisible del conductor (A).

Según el apartado 2.2.2. de la Instrucción ITC-BT-19, la caída de tensión en una instalación como la que nos atañe en este proyecto puede llegar a ser del 3% para alumbrado y del 5% para los demás usos.

3.3 INTENSIDAD ADMISIBLE

Los cálculos han sido realizados, siempre del lado de la seguridad y cumpliendo con lo prescrito en el Real Decreto 842/2.002. Para instalaciones enterradas en zanja en el interior de tubos o similares (ITC-BT-07 3.1.3), para determinar la intensidad admisible de los conductores se ha considerado un coeficiente de seguridad de $k=0,8$.

Además se los cables se dimensionan para que puedan soportar un 25 % más de la intensidad nominal prevista para cumplir con la ITC-BT-47, que exige esta condición para la instalaciones de motores.

3.4 CONDUCTORES A EMPLEAR

A continuación se incluyen las tablas de caídas de tensión de cada componente de la instalación:

DE CUADRO ELÉCTRICO INVERNADERO A CUADRO GENERAL SISTEMA LED

-Tipo de conductor	RV-K Cu 0,6/1 KV	KV
-Potencia	43,08	KW
-Longitud	15,00	m
-Tension	400,00	V.
-Nº de cables POR FASE	1,00	Cu
-Seccion unitaria	50,00	mm2
-Seccion total	50,00	mm2
-Caída de tension	0,27	%
-Intensidad maxima con factor de corrección (galeria)	144,00	A.
-Intensidad soportada por el conductor	77,82	A.
-Longitud total de conductor de fase	45,00	m.
-Longitud total de conductor en neutro	15,00	m.

DE CUADRO GENERAL SISTEMA LED A CUADROS INDIVIDUALES DE CADA CABINA

-Tipo de conductor	RV-K Cu 0,6/1 KV	KV
-Potencia	9,52	KW
-Longitud	15,00	m
-Tension	400,00	V.
-Nº de cables POR FASE	1,00	Cu
-Seccion unitaria	6,00	mm2
-Seccion total	6,00	mm2
-Caída de tension	0,50	%
-Intensidad máxima admisible	36,80	A.
-Intensidad soportada por el conductor	17,20	A.
-Longitud total de conductor de fase	45,00	m.
-Longitud total de conductor en neutro	15,00	m.

INSTALACIÓN DESDE CUADROS LOCALES A RECEPTORES

RECEPTORES	Potencia unitaria (kW)	Nº de elementos instalados	Sección cable (mm.2)	Nº cables por fase	Sección total por fase (mm2)	Longitud Unitaria (m.)	Longitud Total (m.)	Tension (v.)	Caída de Tensión Parc.(%)	Caída de Tensión Tot.(%)	Intensidad conductor (A.)
	CABINA 1-2-3-4										
Circuito 1 - Alumbrado superior LED	0,76	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,13	0,90	3,89
Circuito 2 - Alumbrado superior LED	0,76	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,13	0,90	3,89
Circuito 3 - Alumbrado superior LED	0,76	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,13	0,90	3,89
Circuito 4 - Alumbrado superior LED	0,76	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,13	0,90	3,89
Circuito 5 - Alumbrado superior LED	0,76	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,13	0,90	3,89
Circuito 6 - Alumbrado superior LED	0,76	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,13	0,90	3,89
Circuito 7 - Alumbrado superior LED	0,76	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,13	0,90	3,89
Circuito 1 - Alumbrado intermedio LED	0,42	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,07	0,84	2,15
Circuito 2 - Alumbrado intermedio LED	0,42	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,07	0,84	2,15
Circuito 3 - Alumbrado intermedio LED	0,42	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,07	0,84	2,15
Circuito 4 - Alumbrado intermedio LED	0,42	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,07	0,84	2,15
Circuito 5 - Alumbrado intermedio LED	0,42	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,07	0,84	2,15
Circuito 6 - Alumbrado intermedio LED	0,42	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,07	0,84	2,15
Circuito 7 - Alumbrado intermedio LED	0,42	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,07	0,84	2,15
Circuito 8 - Alumbrado intermedio LED	0,42	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,07	0,84	2,15
Circuito 9 - Alumbrado intermedio LED	0,42	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,07	0,84	2,15
Circuito 10 - Alumbrado intermedio LED	0,42	1	2,50	1	2,50	10	10	230	0,07	0,84	2,15

RECEPTORES	Potencia unitaria (kW)	Intensidad conductor (A.)	Intensidad admisible (A.)	Intensidad de cálculo (A.)	Protección magnetotérmica			Protección diferencial		Regulación Térmica (Imin-Imax) (A)	Tipo de Canalización UNE 20460
					Int. Nominal (A)	Poder corte (kA)	Curva (tipo)	Sensibilidad (mA)	Tipo		
	CABINA 1.2-3-4										
Circuito 1 - Alumbrado superior LED	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C	30	AC	2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
Circuito 2 - Alumbrado superior LED	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C	30	AC	2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
Circuito 3 - Alumbrado superior LED	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C	30	AC	2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
Circuito 4 - Alumbrado superior LED	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C	30	AC	2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
Circuito 5 - Alumbrado superior LED	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C	30	AC	2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
Circuito 6 - Alumbrado superior LED	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C	30	AC	2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
Circuito 7 - Alumbrado superior LED	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C	30	AC	2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
Circuito 8 - Alumbrado superior LED	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C	30	AC	2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
Circuito 9 - Alumbrado superior LED	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C	30	AC	2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
Circuito 10 - Alumbrado superior LED	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C	30	AC	2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F
	0,76	3,89	20,00	4,86	6,30	16	C			2,5-4	E/F

3.5 REDES PARA DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSION

3.5.1 EN BANDEJAS, SOPORTES, PALOMILLAS O DIRECTAMENTE SUJETOS A LA PARED

Normalmente, este tipo de instalación sólo se empleará en subestaciones u otras instalaciones eléctricas y en la parte interior de edificios, no sometida a la intemperie, y en donde el acceso quede restringido al personal autorizado. Cuando las zonas por las que discurra el cable sean accesibles a personas o vehículos, deberán disponerse protecciones mecánicas que dificulten su accesibilidad.

3.5.2 CIRCUITOS CON CABLES EN PARALELO

Cuando la intensidad a transportar sea superior a la admisible por un solo conductor se podrá instalar más de un conductor por fase, según los siguientes criterios:

- emplear conductores del mismo material, sección y longitud.
- los cables se agruparán al tresbolillo, en ternas dispuestas en uno o varios niveles.

3.6 INSTALACIONES RECEPTORAS

También se ha tenido en cuenta la instrucción ITC-BT-19: “Instalaciones interiores o receptoras. Prescripciones generales”.

Asimismo, se ha cumplido la Tabla referente a las secciones mínimas de los conductores de fase respectivos.

TABLA V. CONDUCTORES DE PROTECCIÓN	
Sección del conductor de fase de la instalación (mm ²)	Sección mínima del conductor de protección (mm ²)
$S < 16$	S
$16 < S < 35$	16
$S > 35$	$S/2$

3.6.1 SECCIÓN Y TIPOLOGÍA DE CABLES UTILIZADOS

Como secciones mínimas de conductores se han adoptado las siguientes:

- Cables de alimentación a Cuadros locales de alumbrado: 6 mm²
- Cables de alimentación a puntos de alumbrado: 2,5 mm²

ANEJO Nº 8.- ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

INDICE

1.-	OBJETO DEL ESTUDIO.....	2
2.-	DATOS DE LA OBRA.....	2
2.1	PROYECTO AL QUE SE REFIERE.	2
2.2	DESCRIPCION DEL EMPLAZAMIENTO Y LA OBRA.	3
2.3	INSTALACIONES PROVISIONALES Y ASISTENCIA SANITARIA.	3
2.4	MAQUINARIA DE OBRA	3
2.5	MEDIOS AUXILIARES	3
3.-	RIESGOS LABORALES EVITABLES COMPLETAMENTE.....	4
4.-	RIESGOS LABORALES NO ELIMINABLES COMPLETAMENTE	4
5.-	RIESGOS LABORALES ESPECIALES.....	6
6.-	PRESUPUESTOS.....	6

1.- OBJETO DEL ESTUDIO

El presente Estudio Básico de Seguridad y Salud está redactado para dar cumplimiento al Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, en el marco de la Ley 31/1995 de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

El promotor estará obligado a que en la fase de redacción del proyecto se elabore un estudio de seguridad y salud en los proyectos de obras en que se den alguno de los supuestos siguientes:

- Que el presupuesto de ejecución por contrata incluido en el proyecto sea igual o superior a 75 millones de pesetas (450.759,08 €).
- Que la duración estimada sea superior a 30 días laborables, empleándose en algún momento a más de 20 trabajadores simultáneamente.
- Que el volumen de mano de obra estimada, entendiendo por tal la suma de los días de trabajo del total de los trabajadores en la obra, sea superior a 500.
- Las obras de túneles, galerías, conducciones subterráneas y presas.

En los proyectos de obras no incluidos en ninguno de los supuestos previstos en el apartado anterior, el promotor estará obligado a que en la fase de redacción del proyecto se elabore un estudio básico de seguridad y salud.

De acuerdo con el artículo 3 del R.D. 1627/1997, si en la obra interviene más de una empresa, o una empresa y trabajadores autónomos, o más de un trabajador autónomo, el Promotor deberá designar un Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra. Esta designación deberá ser objeto de un contrato expreso.

De acuerdo con el artículo 7 del citado R.D., el objeto del Estudio Básico de Seguridad y Salud es servir de base para que el contratista elabora el correspondiente Plan de Seguridad y Salud el Trabajo, en el que se analizarán, estudiarán, desarrollarán y complementarán las previsiones contenidas en este documento, en función de su propio sistema de ejecución de la obra.

2.- DATOS DE LA OBRA

2.1 PROYECTO AL QUE SE REFIERE.

El presente Estudio Básico de Seguridad y Salud se refiere al Proyecto cuyos datos generales son los siguientes:

- Título: Diseño e implantación de un sistema de iluminación suplementario LED en un invernadero de Investigación en La Grajera (La Rioja).
- Autor: Emilio Villar Alegría

- Titularidad del encargo: Instituto de Ciencias de la Vid y el Vino, así como sus instituciones asociadas.
- Presupuesto base de licitación del Proyecto: 92.021,72 €
- Plazo de ejecución: Un mes
- Número máximo de operarios: Dos (2) operarios.
- Estimación de jornadas: 60 Jornadas

2.2 DESCRIPCION DEL EMPLAZAMIENTO Y LA OBRA.

Las actuaciones que se describen en este Proyecto se localizan en el término municipal de Logroño, a 3 Km al oeste del núcleo urbano. El invernadero se localiza en la Finca La Grajera, Autovía del Camino de Santiago LO-20 Salida 13, 26007 Logroño, La Rioja. Esta finca pertenece a la Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente del Gobierno de La Rioja y sus instalaciones científicas pertenecen al Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino, un centro adscrito al Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, al Gobierno de La Rioja y a la Universidad de La Rioja.

Este proyecto comprende el Diseño e implantación de un sistema de iluminación suplementario LED en un invernadero de Investigación en La Grajera (La Rioja).

2.3 INSTALACIONES PROVISIONALES Y ASISTENCIA SANITARIA.

De acuerdo con el apartado 15 del Anexo 4 del R.D.1627/97, la obra dispondrá de los servicios higiénicos de los edificios anexos de la Consejería que ha cedido el uso de los mismos.

Por otra parte, de acuerdo con el apartado A 3 del Anexo VI del R.D. 486/97, la obra dispondrá del material de primeros auxilios incluyéndose además la identificación y las distancias a los centros de asistencia sanitaria más cercanos:

- Asistencia primaria: Centro de Salud de Siete Infantes de Lara, en C/ Siete Infantes de Lara 2, Logroño, tlfo: 902.29.77.18.
- Asistencia especializada: Hospital San Pedro en calle Piqueras 98 (Logroño) y tlfo. 941.29.80.00.

2.4 MAQUINARIA DE OBRA

La obra no necesita maquinaria de obra.

2.5 MEDIOS AUXILIARES

Se relacionan los medios auxiliares que van a ser empleados en la obra y sus características más importantes:

1. Andamios apoyados:

- Deberán montarse bajo la supervisión de persona competente.
- Se apoyarán sobre una base sólida y preparada adecuadamente.
- Las cruces de San Andrés se colocarán por ambos lados.
- Correcta disposición de las plataformas de trabajo.
- Correcta disposición de barandilla de seguridad, barra intermedia y rodapié.
- Correcta disposición de los accesos a los distintos niveles de trabajo.
- Uso de cinturón de seguridad de sujeción Clase A, Tipo I durante el montaje y el desmontaje.

2. Escaleras de mano

- Zapatas antideslizantes. Deben sobrepasar en 1 m la altura a salvar.
- Separación de la pared en la base $<$ de la altura total.

3.- RIESGOS LABORALES EVITABLES COMPLETAMENTE.

Se indican la relación de los riesgos laborales que pudiendo presentarse en la obra, van a ser totalmente evitados mediante la adopción de las medidas técnicas que también se incluyen:

- Derivados de la rotura de las instalaciones existentes: Neutralización y desconexión de las instalaciones.
- Presencia de líneas eléctricas: Corte del fluido y puesta a tierra

4.- RIESGOS LABORALES NO ELIMINABLES COMPLETAMENTE

Este apartado contienen la identificación de los riesgos laborales que no pueden ser completamente evitados, y las medidas preventivas y protecciones técnicas que deberán adoptarse para el control y la reducción de este tipo de riesgos. La primera tabla se refiere a aspectos generales afectan a toda la obra, y las restantes a los aspectos específicos de cada una de las fases en las que ésta puede dividirse.

TODA LA OBRA	
RIESGOS	
<p>Caídas de operarios al mismo nivel</p> <p>Caídas de operarios a distinto nivel</p> <p>Caídas de objetos sobre operarios</p> <p>Caídas de objetos sobre terceros</p> <p>Choques o golpes contra objetos</p> <p>Fuertes vientos</p> <p>Trabajos en condiciones de humedad</p> <p>Contactos eléctricos directos e indirectos</p> <p>Cuerpos extraños en los ojos</p> <p>Sobreesfuerzos</p>	
MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROTECCIONES COLECTIVAS	
Orden y limpieza de las vías de circulación de la obra	permanente
Orden y limpieza de los lugares de trabajo	permanente
Recubrimiento, o distancia de seguridad (1m) a líneas eléctricas de B.T.	permanente
Iluminación adecuada y suficiente (alumbrado de obra)	permanente
Puesta a tierra en cuadros, masas y máquinas sin doble aislamiento	permanente
Señalización de la obra (señales y carteles)	permanente
Extintor de polvo seco, de eficacia 21A - 113B	permanente
Evacuación de escombros	frecuente
Escaleras auxiliares	ocasional
Información específica	para riesgos concretos
Cursos y charlas de formación	frecuente
EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL (EPIs)	
Cascos de seguridad	permanente
Calzado protector	permanente
Ropa de trabajo	permanente
Ropa impermeable o de protección	con mal tiempo
Gafas de seguridad	frecuente
Cinturones de protección del tronco	ocasional

INSTALACIONES		
RIESGOS		
Lesiones y cortes en manos y brazos Dermatitis por contacto con materiales Inhalación de sustancias tóxicas Quemaduras Golpes y aplastamientos de pies Electrocuciones Contactos eléctricos directos e indirectos Ambiente pulvígeno		
MEDIDAS PREVENTIVAS Y PROTECCIONES COLECTIVAS		GRADO DE ADOPCION
	Ventilación adecuada y suficiente (natural o forzada)	permanente
	Escalera portátil de tijera con calzos de goma y tirantes	frecuente
	Realizar las conexiones eléctricas sin tensión	permanente
EQUIPOS DE PROTECCION INDIVIDUAL (EPIs)		EMPLEO
	Gafas de seguridad	ocasional
	Guantes de cuero o goma	frecuente
	Botas de seguridad	frecuente
	Cinturones y arneses de seguridad	ocasional

5.- RIESGOS LABORALES ESPECIALES.

Dada la naturaleza de las obras, no se han detectado esta categoría de riesgos.

6.- PRESUPUESTOS

Se ha previsto una partida en el Presupuesto de este Proyecto para Seguridad y Salud de 650.-€

Madrid, noviembre de 2016

Fdo: Emilio Villar Alegría

ANEJO N° 9.- REPORTAJE FOTOGRÁFICO

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Visión del pasillo del invernadero	3
Imagen 2. Visión hacia la sala de control del pasillo	4
Imagen 3. Interior del cabina de control.....	5
Imagen 4. Cuadro general del invernadero.....	6
Imagen 5. Interior de una cabina de investigación con el sistema de iluminación HPS.....	7
Imagen 6. Interior de una cabina de investigación con el sistema de iluminación HPS.....	7
Imagen 7. Detalle de un pulverizador.....	8
Imagen 8. Elementos del sistema de control ambiental en una cabina de investigación	9
Imagen 9. Dispensador de agua y circuito de agua caliente para regular temperatura.	9
Imagen 10. Ventilación lateral en el pasillo.	10
Imagen 11. Detalle del sistema de la malla y la ventilación cenital sin las lámparas de sodio.....	10
Imagen 12. Detalle de una cabina con las luces de sodio y mesas desmontadas.....	11
Imagen 13. Visión de una cabina con su experimento e instalaciones.	12
Imagen 14. Visión de una cabina con su experimento e instalaciones.	13
Imagen 15. Detalle del mecanismo de despliegue y recogida de la malla de sombreo.	13
Imagen 16. Salida del ventilador en sala de control.	14
Imagen 17. Válvulas y filtro de la entrada de agua al invernadero.	14
Imagen 18. Detalle del tejido a bandas plásticas y aluminadas de la malla.....	15
Imagen 19. Entrada al invernadero.....	15
Imagen 20. Visión de una cabina con su experimento e instalaciones.	16
Imagen 21. Visión de una cabina con su experimento e instalaciones.	16
Imagen 22. Visión de una cabina con su experimento e instalaciones.	17
Imagen 23. Detalle de la iluminación de sodio, la malla de sombre recogida y la ventilación cenital...	17
Imagen 24. Ventiladores para cada cabina y sala de control.	18
Imagen 25. Perspectiva del invernadero.....	18
Imagen 26. Perspectiva del invernadero.....	19
Imagen 27. Perspectiva del invernadero.....	19
Imagen 28. Viñas alrededor del invernadero.....	20
Imagen 29. Perspectiva del invernadero y los ventiladores.....	20
Imagen 30. Sala de investigación para fotoperiodo y fotomorfogenesis en las instalaciones en desuso.	21
Imagen 31. Antigua sala de investigación reconvertida en un pequeño vivero.....	22
Imagen 32. Antiguo invernadero de investigación en el CIDA.....	23
Imagen 33. Estado de la antigua sala de control del invernadero en desuso	23
Imagen 34. Estado del interior del antiguo invernadero de investigación.	24
Imagen 35. Antiguo sistema de fan-cooling para refrigeración en el invernadero antiguo	25
Imagen 36. Estado de la entrada e interior del invernadero en desuso.	26



Imagen 1. Visión del pasillo del invernadero



Imagen 2. Visión hacia la sala de control del pasillo



Imagen 3. Interior del cabina de control



Imagen 4. Cuadro general del invernadero.



Imagen 5. Interior de una cabina de investigación con el sistema de iluminación HPS.



Imagen 6. Interior de una cabina de investigación con el sistema de iluminación HPS



Imagen 7. Detalle de un pulverizador.



Imagen 8. Elementos del sistema de control ambiental en una cabina de investigación



Imagen 9. Dispensador de agua y circuito de agua caliente para regular temperatura.



Imagen 10. Ventilación lateral en el pasillo.

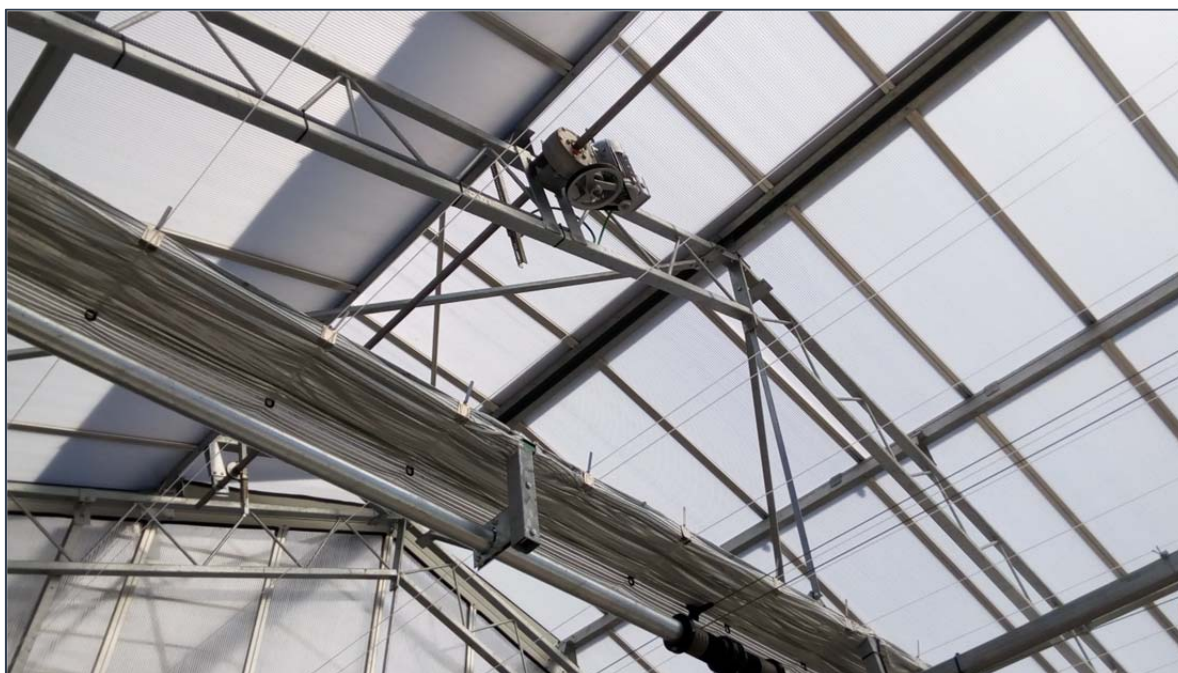


Imagen 11. Detalle del sistema de la malla y la ventilación cenital sin las lámparas de sodio.



Imagen 12. Detalle de una cabina con las luces de sodio y mesas desmontadas.



Imagen 13. Visión de una cabina con su experimento e instalaciones.



Imagen 14. Visión de una cabina con su experimento e instalaciones.



Imagen 15. Detalle del mecanismo de despliegue y recogida de la malla de sombreo.



Imagen 16. Salida del ventilador en sala de control.



Imagen 17. Válvulas y filtro de la entrada de agua al invernadero.



Imagen 18. Detalle del tejido a bandas plásticas y aluminadas de la malla.



Imagen 19. Entrada al invernadero.



Imagen 20. Visión de una cabina con su experimento e instalaciones.



Imagen 21. Visión de una cabina con su experimento e instalaciones.



Imagen 22. Visión de una cabina con su experimento e instalaciones.



Imagen 23. Detalle de la iluminación de sodio, la malla de sombra recogida y la ventilación cenital.



Imagen 24. Ventiladores para cada cabina y sala de control.



Imagen 25. Perspectiva del invernadero.



Imagen 26. Perspectiva del invernadero.



Imagen 27. Perspectiva del invernadero.



Imagen 28 Viñas alrededor del invernadero.



Imagen 29. Perspectiva del invernadero y los ventiladores..



Imagen 30. Sala de investigación para fotoperiodo y fotomorfogenesis en las instalaciones en desuso.



Imagen 31. Antigua sala de investigación reconvertida en un pequeño vivero.



Imagen 32. Antiguo invernadero de investigación en el CIDA.



Imagen 33. Estado de la antigua sala de control del invernadero en desuso



Imagen 34. Estado del interior del antiguo invernadero de investigación.



Imagen 35. Antiguo sistema de fan-cooling para refrigeración en el invernadero antiguo



Imagen 36. Estado de la entrada e interior del invernadero en desuso.

ANEJO Nº 10.- ESTUDIO ECONÓMICO

ÍNDICE

1.-	INTRODUCCIÓN.....	2
2.-	CUADROS DE FLUJO DE CAJA.....	2
3.-	ANÁLISIS DE RENTABILIDAD.....	5
3.1	VALOR ACTUAL NETO.....	6
3.2	TASA INTERNA DE RENDIMIENTO.....	6
3.3	RELACIÓN BENEFICIO/INVERSIÓN.....	6
3.4	PLAZO DE RECUPERACIÓN O PAY BACK.....	7
3.5	RESULTADOS	7

1.- INTRODUCCIÓN

Hay que tener en cuenta que este proyecto tiene una finalidad de investigación por lo que no está entre los objetivos del promotor el maximizar la rentabilidad. Pese a ello, se han buscado métodos de financiación para poder conseguir la viabilidad necesaria para desarrollar el proyecto. Por tanto, se propone un escenario en el que no se busca optimizar los beneficios, si no recuperar la inversión inicial y evitar pérdidas a lo largo de su vida útil.

2.- CUADROS DE FLUJO DE CAJA

Para analizar la viabilidad de este proyecto en el ámbito económico, se ha comenzado por realizar un cuadro de flujos de caja en base a los presupuestos. Los parámetros que caracterizan el proyecto de inversión se desarrollan a continuación:

Pagos de la inversión y otros costes

1. La vida del proyecto se estima en 14 años. Este dato se obtiene teniendo en cuenta los siguientes datos: una vida útil media de las lámparas de 25000 horas, un fotoperiodo medio de 12 horas durante dos tercios del año (8 meses) y un coeficiente de uso del 60% de la instalación total.

$$25000/(12*30*8*0.6)=14.46$$

2. La inversión necesaria para la instalación se ha determinado en el documento N°4.- Presupuestos de este proyecto, ascendiendo a 94.898,55.-€ Esta inversión se abonará en el primer año.
3. Los costes anuales derivados de la implantación de esta tecnología son los siguientes:
 - Reposición de un pequeño porcentaje de las luminarias por roturas accidentales en su manejo y mantenimiento, así como los posibles picos de tensión de la red eléctrica. La tecnología LED ofrece equipos de iluminación con una gran durabilidad y robustez, por ello, se considera un porcentaje de 0,5% anual sobre el total de la inversión.

- Costes de personal investigador, y a estos efectos, se considera la dedicación del 15% de un ingeniero con experiencia para dirigir las diversas experiencias, un técnico senior a media jornada y tres becarios.
- El coste de materiales, plantas, abonos y fungibles para realizar las diversas investigaciones, así como el coste para realizar las pruebas analíticas correspondientes, que se estima en unos 500 euros/mes.
- Costes de energía eléctrica. La potencia total instalada en el invernadero es de 43,08 kW. El consumo eléctrico se obtiene considerando una utilización media del conjunto de la instalación de 12 horas al día durante ocho meses y un coeficiente de utilización del 60% de la instalación total. Se ha considerado un precio medio de 0,09 €/kW

Inversión necesaria **94.898,55 €**

Costes anuales derivados de la implantación de la tecnología **44.214,29 €**

Mantenimiento y reposición **0,50%** **94.898,55 €** **474,49 €**

Costes de personal	% jornada	Sueldo anual	
- Ingeniero director	15,00%	36.000,00 €	5.400,00 €
- Ingeniero senior	40,00%	24.500,00 €	9.800,00 €
- Becarios	200,00%	5.820,00 €	11.640,00 €
Total Costes personal			26.840,00 €

Suministro de materiales y plantas. Analíticas. **6.000,00 €**

Gastos administrativos y varios **4.200,00 €**

	€/kWh	kWh	€/año
Coste de la energía	0,09	74.442	6.699,80 €

Cobros

Los cobros (C) son las entradas de recursos monetarios en caja. Cualquier proyecto empresarial debe generar entradas para cumplir sus objetivos, no obstante, en este caso, dado que se trata de una instalación de investigación, este apartado se va a plantear como la financiación necesaria para que el Proyecto sea viable. Los cobros de este proyecto se dividen en tres unidades fundamentales:

- Subvenciones para promover la investigación del Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria (INIA) y de la Agencia de

Desarrollo Económico de La Rioja (ADER) principalmente, aunque se deja la puerta abierta a buscar más fuentes de subvenciones.

- Alquiler de instalaciones.
- Asesorías, cursos, etc.

El primer año se conseguirían 49142.39 € que provendrían del ADER y que se corresponden con el 42% de la suma de la inversión y gastos totales del primer año. Este coeficiente se obtiene al sumar los distintas primas que ofrece la agencia (15 % por proyectos de desarrollo experimental, +5% cuando exista colaboración con otro Organismo de Investigación o Centro Tecnológico, +5% cuando el desarrollo del proyecto esté vinculado al desarrollo o aplicación de tecnologías relacionadas a la biotecnología, +5% cuando los proyectos sean colectivos, y existan más de un beneficiario no vinculados empresarialmente, +2% cuando se acredite de forma efectiva que la definición del proyecto de I+D se realiza en base a los resultados de acciones previas de Vigilancia Tecnológica, de Inteligencia Competitiva, de Benchmarking, de estudio del Estado del arte, o estudios similares, +10% para los nuevos elementos activos productivos materiales e inmateriales necesarios para la fabricación o la producción del nuevo producto, servicio o proceso desarrollado).

Para los años 2 y 3 se espera conseguir una financiación de 27412.86 que proviene de utilizar las mismas primas que en el año uno excepto el 10% para los nuevos elementos, puesto que consideramos que no hará falta una nueva inversión a lo largo de la vida útil del proyecto, y de añadir el pago del 50% de los sueldos del personal investigador durante dos años. Esta subvención se complementa con otra dada por la misma agencia que cubre la mitad del gasto en personal investigador. Entre los años 4 y 14 se espera conseguir el mismo porcentaje del 32% de los pagos más una cantidad de 12822.15 € que equivale al 29% de los pagos y que provendría del INIA u otras instituciones.

Cobros de alquileres. Se considera que al tercer año, tras consolidar y perfeccionar el proceso investigador, se podrían empezar a alquilar dos de las cabinas del invernadero a empresas interesadas en desarrollar sus propios ensayos con la ayuda del centro. Se propone un alquiler mensual de cada una de las cabinas 8414.28 €, lo que significa un cobro anual total de 19542.72 €. Esta cantidad se obtiene al considerar el coste de mantener la actividad en una cabina y multiplicarlo por 13 para ayudar a financiar las

cabinas no alquiladas y se considera justificada tanto por el tamaño de la cabina (55m^2) como el abanico de servicios que la instalación posibilita.

Cobro en cursos. Para diversificar y ampliar la financiación del proyecto se proponen, a partir también del año 3, la realización de cuatro cursos o talleres a lo largo de año (uno al comienzo de cada periodo lectivo y dos intensivos en verano). En cada uno de estos cursos se espera recibir a 16 personas que paguen 200 € cada una por cursos de 20 horas aproximadamente. Con la realización de estas actividades se recibiría un ingreso de 9600 euros anuales.

Flujos de caja

Los flujos de caja se definen como la diferencia entre los cobros y los pagos en el año j.

Tasa de actualización

La tasa de actualización o descuento (r) posibilita la homogenización de los parámetros de la inversión al referirlos todos a una misma unidad de tiempo. Se elige una tasa del 3%.

Año	Inversión	Pagos	Cobros en subvenciones	Cobros en Alquileres	Cobros en Cursos	Flujo de Caja
0	2016	94.898,55 €	- €	- €	- €	- 94.898,55 €
1	2017	- €	22.107,15 €	49.142,39 €	- €	27.035,25 €
2	2018	- €	44.214,29 €	27.412,86 €	- €	16.801,43 €
3	2019	- €	44.214,29 €	27.412,86 €	- €	16.801,43 €
4	2020	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
5	2021	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
6	2022	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
7	2023	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
8	2024	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
9	2025	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
10	2026	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
11	2027	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
12	2028	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
13	2029	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
14	2030	- €	44.214,29 €	26.970,72 €	19.542,72 €	11.899,14 €
VAN						892,15 €
TIR						3%

3.- ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Una vez determinado el cuadro de flujos de caja es necesario evaluar la rentabilidad y la viabilidad del proyecto, para ello se emplean diferentes criterios de evaluación financiera.

3.1 Valor Actual Neto

El primer criterio que se realizará será el Valor Actual Neto (VAN). Este valor expresa el valor actualizado de todos los rendimientos financieros generados por la inversión, es decir, la ganancia total o rentabilidad absoluta a precios actuales. Así, este valor determina la viabilidad del proyecto; en caso de ser negativo sería un proyecto no viable, por lo que el objetivo es que se obtenga un VAN positivo aunque prácticamente nulo al querer la rentabilidad mínima.

$$VAN = - \sum_{i=0}^m \frac{K_i}{(1+r)^i} + \sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1+r)^j}$$

Donde:

1. K_i : pago de la inversión en el año i
2. m : número de años en los que se realiza el pago de la inversión
3. r : tasa de actualización ajustada (0.36)
4. R_j : flujo de caja del año j
5. N : vida útil del proyecto (14)
6. J : número del año

Con ésta fórmula y los datos expuestos anteriormente se consigue un Valor Actual Neto de 892.15 €

3.2 Tasa Interna de Rendimiento

Nuestra tasa interna de rendimiento resulta ser de un 3%. Esto se debe a que el objetivo que se persigue con este estudio económico no es maximizar la rentabilidad, sino proponer un modelo de la financiación necesaria para asegurar la viabilidad del uso del invernadero.

3.3 Relación Beneficio/Inversión

La relación Beneficio inversión (Q) indica la rentabilidad relativa, es decir, la ganancia neta generada por cada unidad monetaria invertida en él. Viene definida por la siguiente expresión:

$$B/I = \frac{VAN}{\sum_{i=0}^m \frac{K_i}{(1+r)^i}}$$

En el caso de que la relación Beneficio/Inversión sea positiva quiere decir que el proyecto es viable económicamente hablando. Aplicando la fórmula a nuestros datos se obtiene una relación beneficio/inversión de 0.06. Esta relación es prácticamente nula, tal y como se buscaba, por lo que se puede decir que solo se evitan pérdidas.

3.4 Plazo de recuperación o Pay Back

El periodo de recuperación del capital o Pay Back es otro criterio a tener en consideración. Mide el número de años mínimo que debe transcurrir para recuperar la inversión desembolsada. Para ello hace falta fijarse en los flujos de caja.

Con el planteamiento explicado anteriormente, se deduce que este plazo de recuperación será al final de la vida útil del proyecto, es decir, a los 14 años tras la inversión.

3.5 Resultados

En la Tabla 1. Resumen de los indicadores usados en el estudio Tabla 1 se han recogido todos los resultados obtenidos de los cuatro criterios de rentabilidad.

Tabla 1. Resumen de los indicadores usados en el estudio

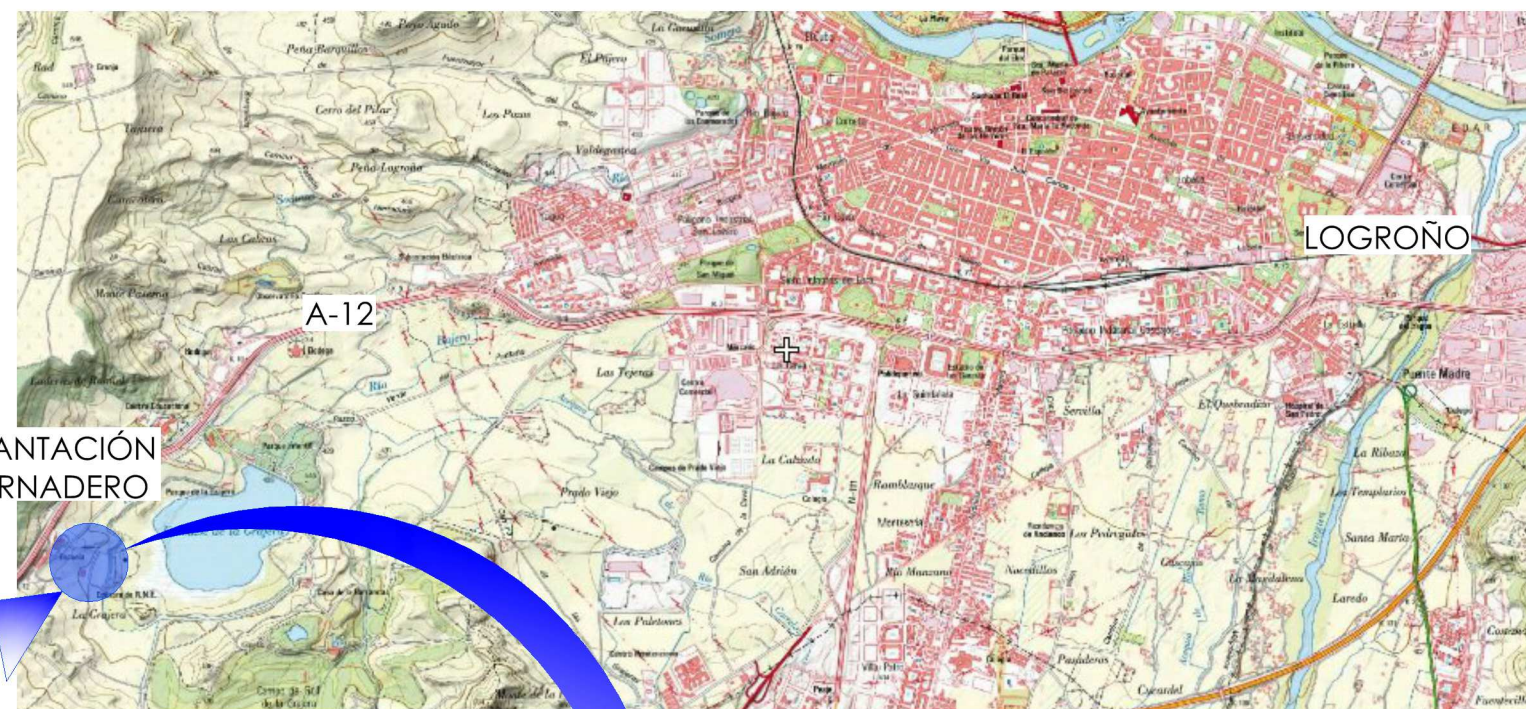
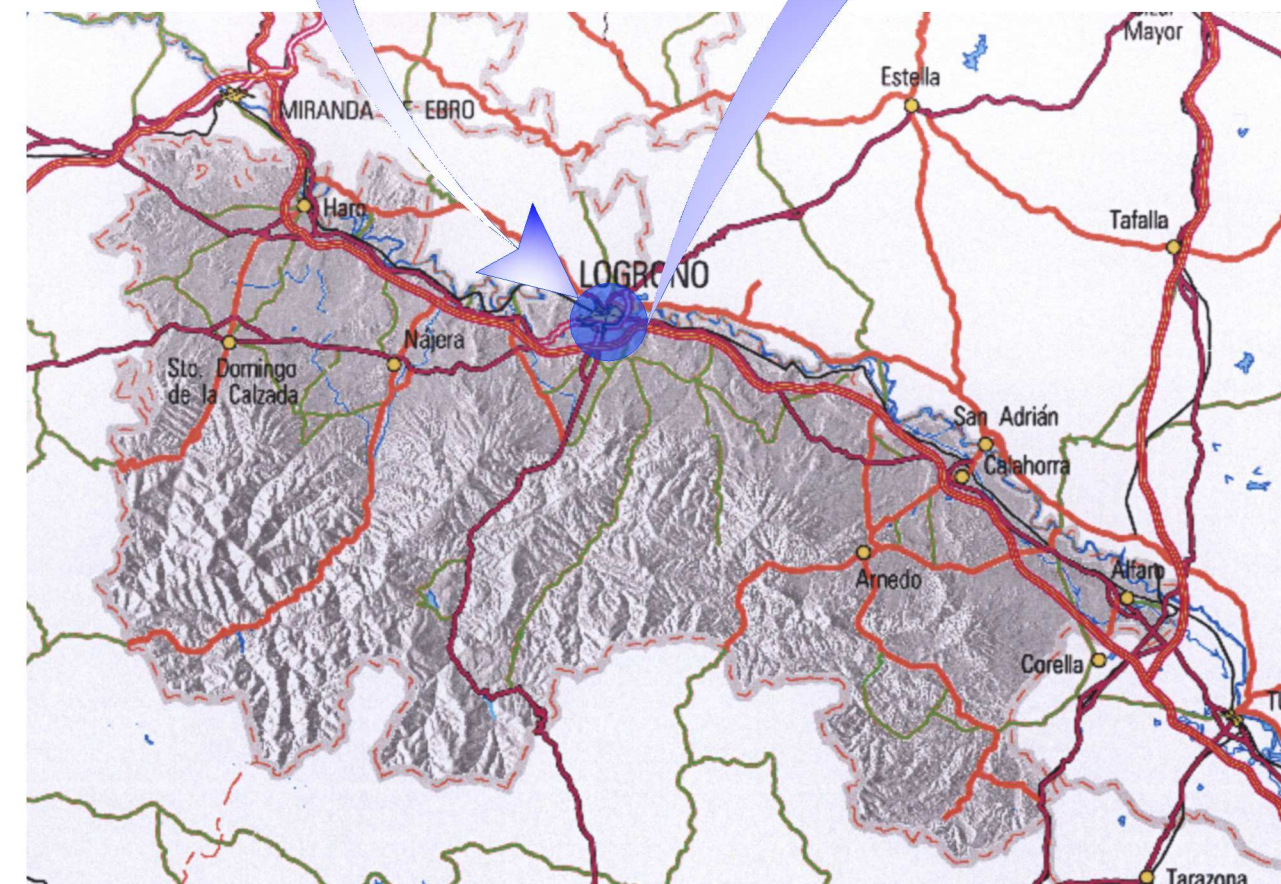
Indicador	Valor
VAN	892.15 €
TIR	3 %
Pay Back	14 años (vida útil del proyecto)
Beneficio/Inversión	0.06

DOCUMENTO Nº 2.- PLANOS

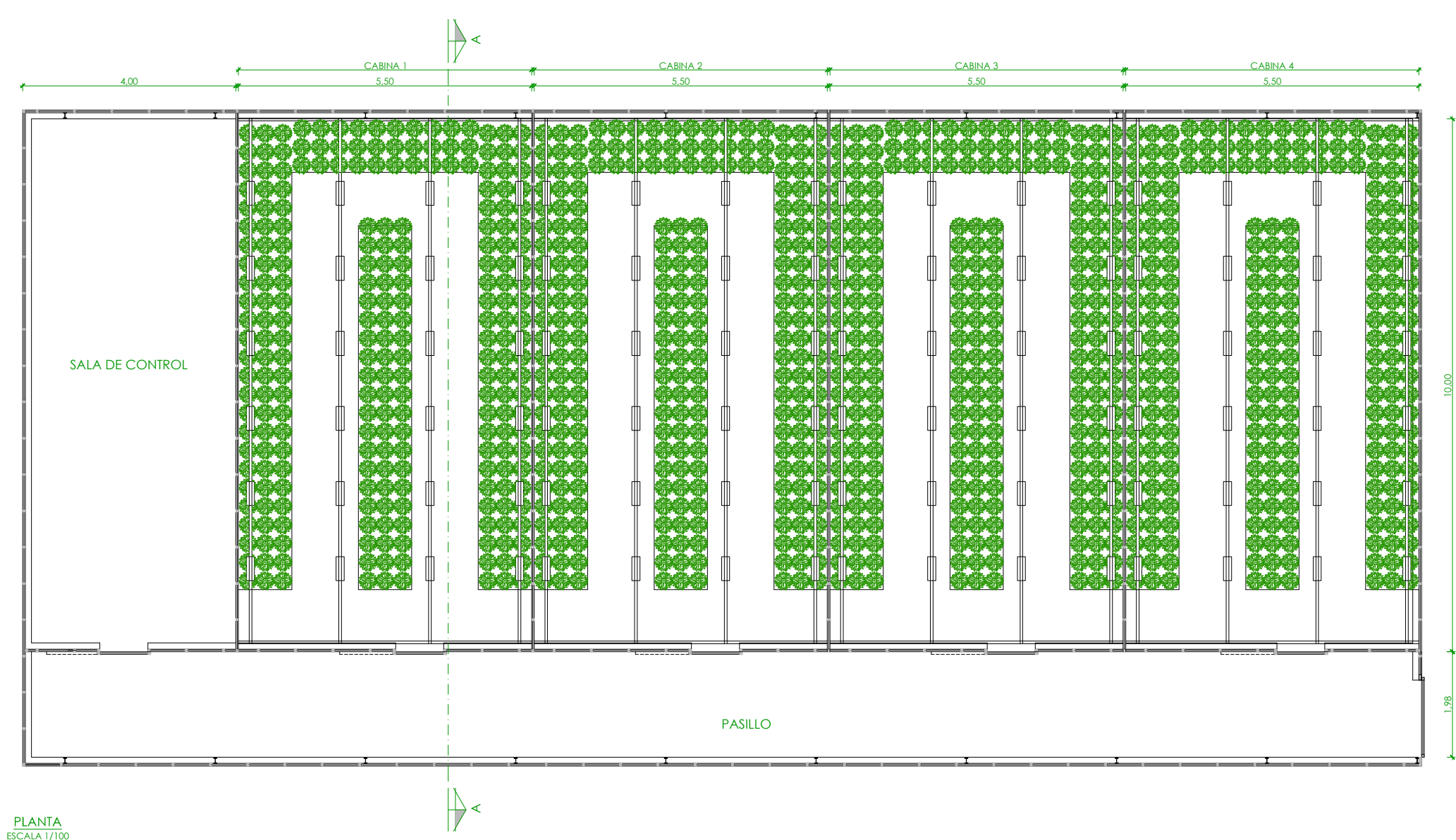
DOCUMENTO Nº 2.- PLANOS

INDICE

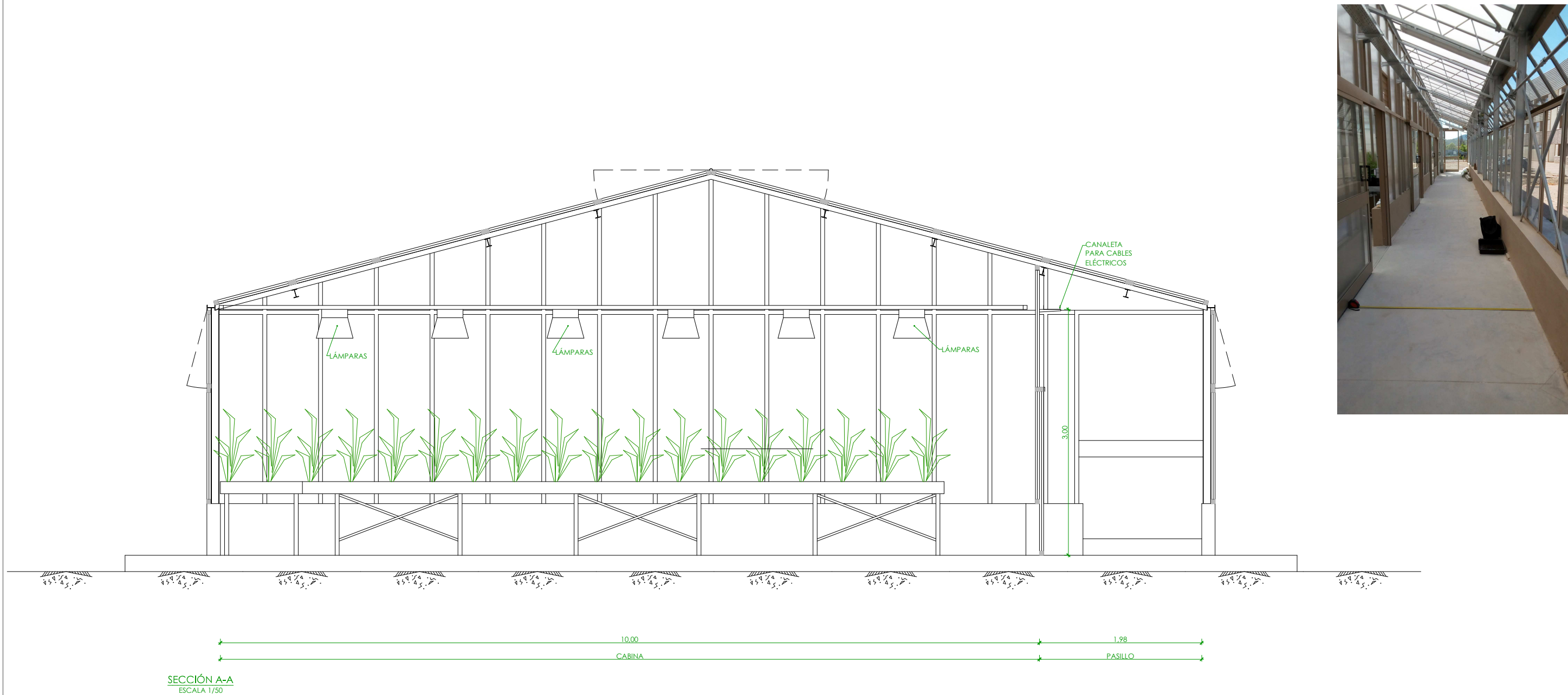
- 01.- Situación y emplazamiento.**
- 02.- Invernadero. Planta. Instalaciones existentes.**
- 03.- Invernadero. Sección. Instalaciones existentes.**
- 04.- Invernadero. Planta. Instalaciones nuevas.**
- 05.- Esquema eléctrico. Esquema unifilar 1.**
- 06.- Esquema eléctrico. Esquema unifilar 2.**



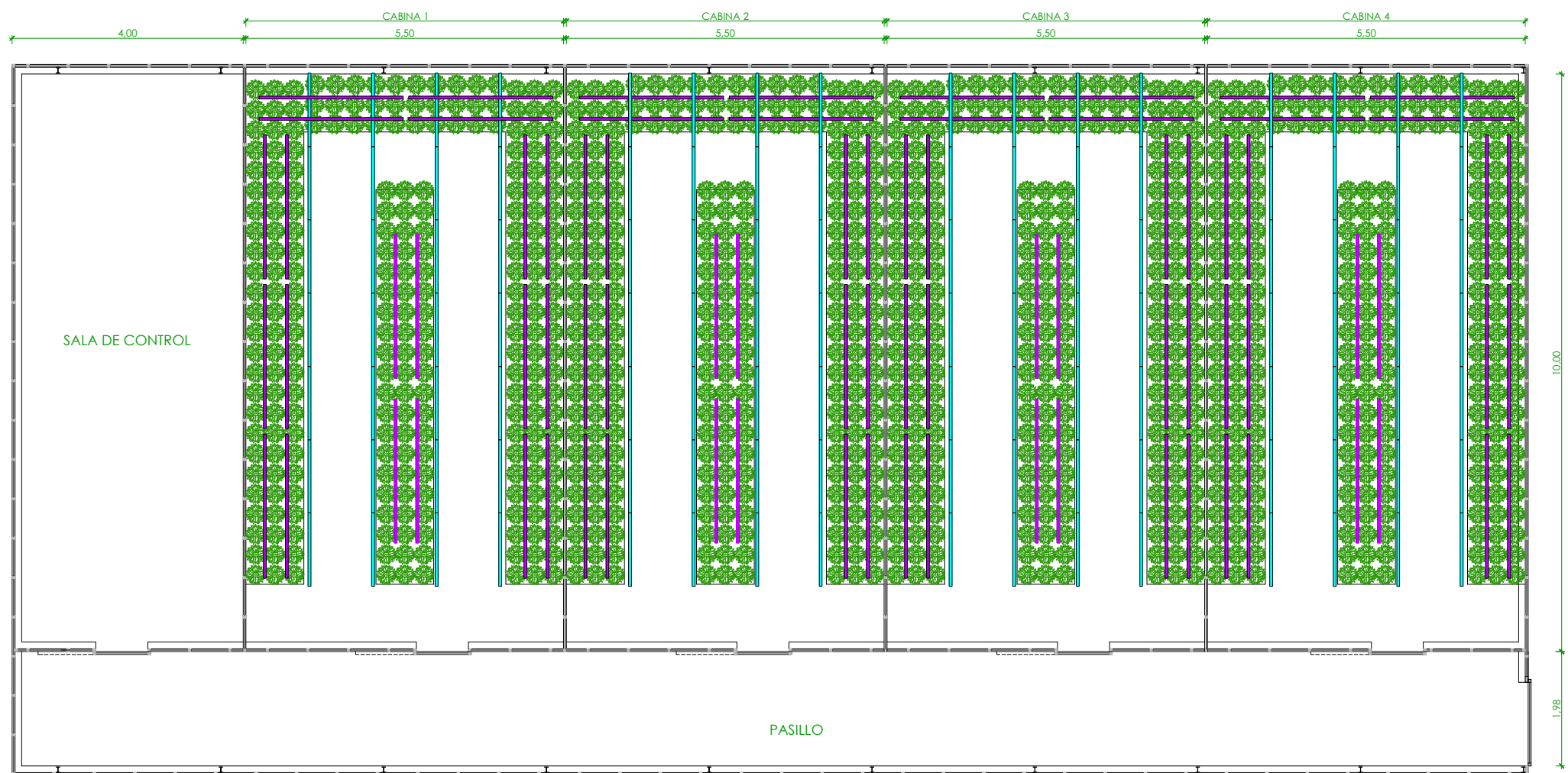
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID		
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS		
TRABAJO FIN DE GRADO		
TRABAJO FIN DE GRADO: DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIO LED EN UN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN EN LA GRAJERA, LOGROÑO (LA RIOJA)		
PLANO:	SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO.	Nº: 01
ESCALA:	AUTOR: EMILIO VILLAR ALEGRÍA	GRADO ICA
S/E	FIRMA:	FECHA: NOVIEMBRE 2016



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID		
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS		
TRABAJO FIN DE GRADO		
TRABAJO FIN DE GRADO: DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIO LED EN UN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN EN LA GRAJERA, LOGROÑO (LA RIOJA)		
PLANO: INVERNADERO. PLANTA. INSTALACIONES EXISTENTES.		Nº: 02
ESCALA: 1/100	AUTOR: EMILIO VILLAR ALEGRÍA FIRMA:	GRADO ICA FECHA: NOVIEMBRE 2016



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID		
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS		
TRABAJO FIN DE GRADO		
TRABAJO FIN DE GRADO:		
DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIO LED EN UN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN EN LA GRAJERA, LOGROÑO (LA RIOJA)		
PLANO:	INVERNADERO. SECCIÓN. INSTALACIONES EXISTENTES.	Nº: 03
ESCALA:	AUTOR: EMILIO VILLAR ALEGRÍA	GRADO ICA
1/500	FIRMA:	FECHA: NOVIEMBRE 2016



PLANTA
ESCALA 1/100



LEYENDA ALUMBRADO Y EMERGENCIAS

GreenPower LED toplighting mod. DR/B LB 400V

GreenPower LED inetrelighting mod. DR/B (deep red/blue)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

TRABAJO FIN DE GRADO

TRABAJO FIN DE GRADO:

DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIO LED EN UN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN EN LA GRAJERA, LOGROÑO (LA RIOJA)

PLANO:

INVERNADERO.
PLANTA. INSTALACIONES NUEVAS.

Nº:
04

ESCALA:

1/100

AUTOR: EMILIO VILLAR ALEGRÍA

FIRMA:

GRADO ICA

FECHA: NOVIEMBRE 2016

CUADRO GENERAL
ELECTRICIDAD INVERNADERO

4x50+TTx25mm2Cu

Instalación E/F
0.6/1 kV, PVC
15 m

CUADRO GENERAL
DE ALUMBRADO SISTEMA LED

I.MAG.IV
100 A
PdeC: 16 kA

I.MAG.IV
25 A
PdeC:4.5 kA
Curvas B,C
I.DIF.IV
25A.30 mA

I.MAG.IV
25 A
PdeC:4.5 kA
Curvas B,C
I.DIF.IV
25A.30 mA

I.MAG.IV
25 A
PdeC:4.5 kA
Curvas B,C
I.DIF.IV
25A.30 mA

I.MAG.IV
25 A
PdeC:4.5 kA
Curvas B,C
I.DIF.IV
25A.30 mA

I.MAG.IV
16 A
PdeC:4.5 kA
Curvas B,C
I.DIF.IV
25A.30 mA

4x6+TTx6mm2Cu
0.6/1 kV, PVC
15 m

4x6+TTx6mm2Cu
0.6/1 kV, PVC
15 m

4x6+TTx6mm2Cu
0.6/1 kV, PVC
15 m

4x6+TTx6mm2Cu
0.6/1 kV, PVC
15 m

4x6+TTx6mm2Cu
0.6/1 kV, PVC
10 m

CUADRO LOCAL
DE ILUMINACIÓN
CABINA Nº 1

CUADRO LOCAL
DE ILUMINACIÓN
CABINA Nº 2

CUADRO LOCAL
DE ILUMINACIÓN
CABINA Nº 3

CUADRO LOCAL
DE ILUMINACIÓN
CABINA Nº 4

CONSUMOS VARIOS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

TRABAJO FIN DE GRADO

TRABAJO FIN DE GRADO:

DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIO LED EN UN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN EN LA GRAJERA, LOGROÑO (LA RIOJA)

PLANO:

ESQUEMA ELECTRICO.
ESQUEMA UNIFILAR 1.

Nº:

05

ESCALA:

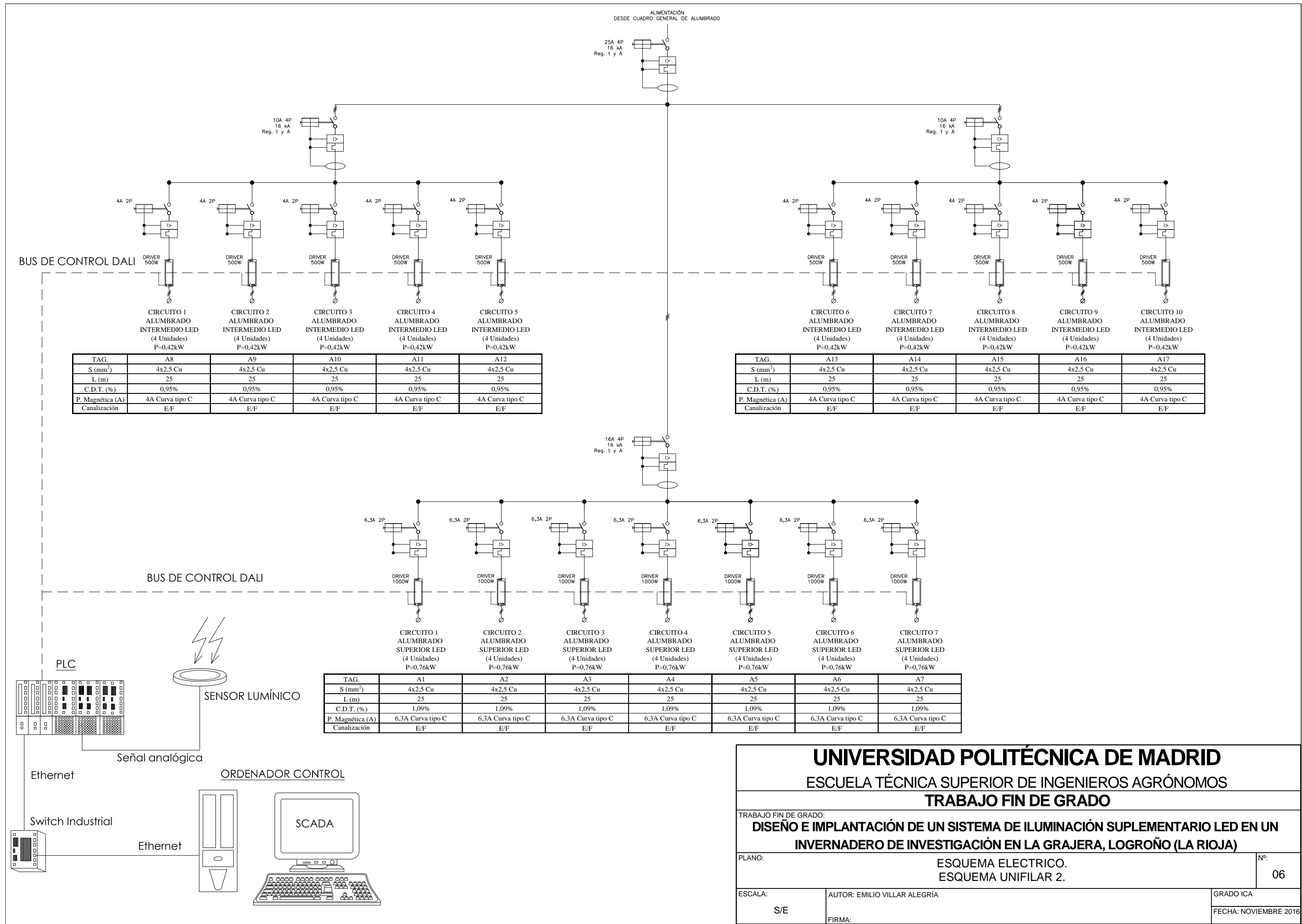
S/E

AUTOR: EMILIO VILLAR ALEGRÍA

FIRMA:

GRADO ICA

FECHA: NOVIEMBRE 2016



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

TRABAJO FIN DE GRADO

TRABAJO FIN DE GRADO:
DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIO LED EN UN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN EN LA GRAJERA, LOGROÑO (LA RIOJA)

PLANO: ESQUEMA ELECTRIC. ESQUEMA UNIFILAR 2. Nº: 06

ESCALA: S/E AUTOR: EMILIO VILLAR ALEGRÍA GRADO ICA
FIRMA: FECHA: NOVIEMBRE 2016

DOCUMENTO N° 3.- PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES

INDICE

1.-	DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS	2
2.-	DISPOSICIONES TECNICAS QUE REGIRAN EN EL DESARROLLO DE LAS OBRAS	2
3.-	CONDICIONES TECNICAS QUE DEBERAN CUMPLIR LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA OBRA CIVIL	3
4.-	EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.....	3
4.1	PRESCRIPCIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.	3
4.2	REPLANTEO GENERAL DE LA OBRAS.	4
4.3	PERIODO DE CONSTRUCCIÓN.....	4
4.4	FACILIDADES PARA INSPECCIÓN.	5
4.5	SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS	5
4.6	GESTIÓN DE LOS RESIDUOS.	5
4.7	RECEPCIÓN DE LAS OBRAS	6
4.8	PERIODO DE GARANTÍA.....	6
5.-	CONDICIONES ECONÓMICAS Y LEGALES.	6
5.1	DEFINICIÓN DE LOS PRECIOS Y MEDICIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA.	6
5.2	PRECIOS CONTRADICTORIOS EN OBRAS NO PREVISTAS.....	7

Anexo: Especificaciones técnicas

1.- DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

Las obras que comprenden el presente proyecto consisten en la instalación de luminarias LEDs en un invernadero de investigación situado en La Grajera, termino municipal de Logroño, La Rioja.

En los restantes documento de este proyecto se describe justificadamente y se valora la solución adoptada..

2.- DISPOSICIONES TECNICAS QUE REGIRAN EN EL DESARROLLO DE LAS OBRAS

Para la redacción y posterior ejecución del Proyecto, además de la normativa oficial que específicamente determine el Director del Proyecto durante la realización de los trabajos y lo especificado en el presente Pliego de Bases Generales, se tendrán en cuenta las siguientes Disposiciones, Normas y Reglamentos: Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

- Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.
- Normas UNE-EN-ISO.
- Real Decreto 223/2008 de 15 de Febrero por el que se aprueba el Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias IC-LAT 01 a 09.
- Real Decreto 842/2.002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus instrucciones técnicas complementarias. (BOE nº 224 de 18-9-2.002).
- Real Decreto 1890/2008 de 14 de noviembre por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones de alumbrado exterior, y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Real Decreto 1955/2000 por el que se regula las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministros y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (BOE nº 310 de 27-12-2.000).

- Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. (BOE nº 269 de 10-11-1.995), y los Reales Decretos que la complementan.
- Real Decreto 1627/1.997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. (BOE nº 257 de 25-10-1997).
- Real Decreto 614/2.001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y de los trabajadores frente al riesgo eléctrico (BOE nº 148 de 21-6-2.001).
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. O.M. de 9 de marzo de 1.971.

3.- CONDICIONES TECNICAS QUE DEBERAN CUMPLIR LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA OBRA CIVIL

Los materiales que se empleen en la obra habrán de reunir las condiciones mínimas establecidas en el presente Pliego. El Adjudicatario tiene libertad para ofrecer los materiales que las obras precisen del origen que estime conveniente, siempre que ese origen haya quedado definido y aprobado en el Proyecto. En caso contrario, la procedencia de los materiales requerirá la aprobación del Director de las Obras.

Se adjunta como anexo de este documento las especificaciones técnicas relativas a los materiales y equipos que contempla el presente proyecto.

Los materiales que, sin expresa especificación en el presente Pliego, hayan de ser empleados en obra, estarán sometidos a las condiciones establecidas en Normas y Reglamentos o Instrucciones a los que este Pliego alude en el Capítulo 2 "Disposiciones técnicas que regirán en el desarrollo de las Obras".EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

3.1 PRESCRIPCIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

Todas las obras se ejecutarán siempre ateniéndose a las reglas de la buena construcción, con sujeción a las normas del presente Pliego. El Contratista deberá atenderse en todo caso a las instrucciones dadas por escrito por el Ingeniero Director de

las obras, en cuanto a la forma de ejecutar los trabajos en zonas localizadas en que se pueda afectar a terceros.

Durante su ejecución, el Contratista no puede abandonarla sin haber dejado un representante o delegado capaz de reemplazarle, tanto técnica como económicamente, de forma que ninguna operación pueda retardarse o suspenderse por su ausencia.

El contratista acompañará a la Dirección de la obra en todas sus inspecciones cuando sea requerido para ello.

Las órdenes escritas entregadas al contratista lo serán por duplicado, debiendo, por su parte, devolver un ejemplar firmado en el que conste el correspondiente enterado.

Cualquier reclamación que crea oportuno hacer el Contratista contra alguna de las disposiciones u órdenes recibidas, deberá ser formulada por escrito a la Dirección de la Obra.

3.2 REPLANTEO GENERAL DE LA OBRAS.

El Ingeniero Director de las Obras hará sobre el terreno el replanteo general de las obras marcando de una manera completa y detallada cuantos puntos sean precisos y convenientes para la determinación total del emplazamiento de todos los elementos.

De este replanteo que deberá presenciar el Contratista por sí mismo o delegar en persona autorizada debidamente, se levantará acta suscrita por el Ingeniero y contratista, o por sus representantes. A partir de la fecha del Acta y durante todo el tiempo que se invierta en la ejecución de las obras, la vigilancia y conservación de las señales, correrá a cargo del Contratista.

3.3 PERIODO DE CONSTRUCCIÓN

Comienza este periodo el día siguiente a la fecha del Acta de Comprobación del Replanteo de las Obras y comprende la adquisición de los equipos industriales necesarios y el montaje completo de los mismos en cada una de las obras agrupadas en la Actuación contratada.

Durante este periodo el Adjudicatario irá aportando los libros, manuales y folletos de Instrucciones de Operación y Mantenimiento de las nuevas instalaciones, en cuanto sea posible y siempre antes de la Recepción de las Obras.

3.4 FACILIDADES PARA INSPECCIÓN.

El Contratista proporcionará al Ingeniero, a sus subalternos o agentes delegados toda clase de facilidades para poder practicar los replanteos de obras, reconocimientos y pruebas de los materiales y su preparación, para llevar a cabo la vigilancia de la mano de obra y de todos los trabajos con objeto de comprobar el cumplimiento de las condiciones establecidas en el presente Pliego, permitiendo el acceso a todas partes, incluso a las fábricas o talleres en que se producen los materiales o se realicen trabajos para las obras.

3.5 SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS

Todas las instalaciones deberán cumplir la legislación vigente en materia de seguridad y salud en el trabajo en lo que les fuera aplicable. En particular, la Ley 13/1995 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales y el Real Decreto 1627/1997 de 24 de Octubre.

Dicho Real Decreto establece las condiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, recogiendo las obligaciones del promotor, del proyectista, del Adjudicatario y del subcontratista. Además, introduce las figuras del coordinador en materia de seguridad y salud tanto en fase de proyecto como en fase de obra, y la obligatoriedad de incluir un Estudio de Seguridad y Salud y su aplicación mediante la elaboración de un Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo.

3.6 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS.

El Contratista deberá establecer los medios humanos, técnicos y procedimientos para la separación de cada tipo de RCD (Residuo de Construcción y Demolición).

Se deberá asegurar en la contratación de la gestión de los RCDs que el destino final (planta de reciclaje, vertedero, cantera, incineradora...) se realiza en centros con la autorización autonómica de la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de La Rioja, asimismo se deberá contratar sólo transportistas o gestores autorizados por dicha Consejería e inscritos en el registro pertinente.

Se llevará a cabo un control documental en el que quedarán reflejados los avales de retirada y entrega final de cada transporte de residuos.

La gestión tanto documental como operativa de los residuos peligrosos que se hallen en una obra de derribo o de nueva planta se realizará conforme a la legislación nacional y autonómica vigente y a los requisitos de las ordenanzas municipales.

Asimismo, los residuos de carácter urbano generados en las obras (restos de comidas, envases...) serán gestionados acorde con los preceptos marcados por la legislación y autoridad municipal correspondiente.

3.7 RECEPCIÓN DE LAS OBRAS

Una vez finalizadas las obras, se procederá a realizar las pruebas de funcionamiento que estime conveniente la Dirección de las Obras, sometiendo a la instalación a un servicio continuado durante 48 horas a plena potencia.

En el caso que durante las pruebas se detecte alguna incidencia, se comunicará al Contratista para su resolución. Una vez solucionado, se procederá de nueva a efectuar la prueba de 48 horas.

Una vez superada se levantará el Acta de Recepción correspondiente.

3.8 PERIODO DE GARANTÍA

El Contratista quedará obligado a resolver todos los defectos y vicios ocultos de la instalación, que sean detectados en el primer año de servicio de la instalación.

4.- CONDICIONES ECONÓMICAS Y LEGALES.

4.1 DEFINICIÓN DE LOS PRECIOS Y MEDICIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA.

Los precios comprenden en general y salvo indicación en contrario, todos los materiales, su transporte, mano de obra, operaciones y medios auxiliares necesarios para terminar completamente cada unidad con arreglo a las prescripciones de este Pliego y a las de una buena construcción.

Asimismo se considera repercutido en los precios unitarios, hasta un 1 % de coste en pruebas y ensayos de calidad que requiera el Ingeniero Director.

De igual manera, el Contratista ha de reponer a su estado original cuantos servicios afectados, infraestructuras o reposiciones de otra índole que sean afectadas por la obra, y todos los costes ocasionados serán a su cargo, considerándose prorrateados en el resto de unidades de obra.

Las unidades se abonarán de acuerdo con lo indicado en la descripción de los precios correspondientes del Presupuesto.

4.2 PRECIOS CONTRADICTORIOS EN OBRAS NO PREVISTAS.

Si ocurriese algún caso imprevisto en el cual sea absolutamente necesaria la fijación de precios contradictorios, este precio deberá fijarse partiendo de los precios básicos, jornales, seguridad social, materiales, transporte, etc. vigentes en la fecha de adjudicación de la obra o que hayan sido aprobados posteriormente, así como los restantes precios que figuran en este proyecto y que pueden seguir de base.

La fijación del precio habrá de hacerse precisamente antes de que se ejecute la obra a que hubiese de aplicarse, y siempre con la aprobación del Director de las Obras.

Si dichas obras se han ejecutado sin conformidad previa y son aprobadas posteriormente por la Dirección de las Obras, este podrá fijar unilateralmente su coste.

Madrid, Noviembre de 2016

Fdo: Emilio Villar Alegría

ANEXO: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES. EQUIPOS ELÉCTRICOS

INDICE

ETG-EE 001	CABLE ELÉCTRICO RV-K
ETG-EE 002	CABLE ELÉCTRICO RZ1-K Cu
ETG-EE 003	BANDEJA PVC
ETG-EE 004	TUBO RIGIDO PVC
ETG-EE 005	CUADRO ELÉCTRICO ALUMBRADO
ETG-EE 006	INTERRUPTOR SUPERFICIE ESTANCO
ETG-EE 007	LUMINARIA SUPERIOR TOPLIGHTING
ETG-EE 008	LUMINARIA INTERNA INTERLIGHTING

OBRA: IMPLANTACIÓN DE ILUMINACIÓN LED EN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN	
EQUIPO: CABLE ELÉCTRICO RV-K	Nº DE ORDEN: E.T.G. EE001
SERVICIO: GENERAL	FECHA: NOVIEMBRE 2016

Hoja 1 de 1

Características

Fabricante:	PRYSMIAN, NEXANS o similar.
Designación:	RV-K Cu 0,6/1 kV
Sección:	Indicada en presupuesto.
Tensión nominal:	0,6/1 kV
Ensayo de tensión en c.a. durante 5 minutos:	3.500 V
Conductores:	Cobre electrolítico recocido
Flexibilidad:	Clase 5 según UNE 21.022,
Norma constructiva:	Según UNE 21123, IEC 502, EN 50.265
Tipo de aislamiento:	Polietileno reticulado (XLPE)
Color del aislamiento:	Amarillo/verde o azul, gris, marrón y negro
Tipo de cubierta:	Mezcla de policloruro de vinilo (PVC)
Color de cubierta:	Según la sección del conductor
Temperatura de servicio (instalación fija):	-25°C, +90°C (termoestable)
Temperatura máxima de servicio:	+90°C
Temperatura máxima de cortocircuito:	250°C
No propagador de la llama:	Sí según UNE-EN 60332-1-2.
Reducida emisión de halógenos:	Sí según UNE-EN 50267-2-1

OBRA: IMPLANTACIÓN DE ILUMINACIÓN LED EN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN	
EQUIPO: CABLE ELÉCTRICO RZ1-K Cu	Nº DE ORDEN: E.T.G. EE002
SERVICIO: ILUMINACIÓN LOCALES DE PUBLICA CONCURRENCIA	FECHA: JULIO 2016

Hoja 1 de 1

Características

o Fabricante:	PRYSMIAN, NEXANS o similar.
o Designación:	RZ1-K Cu
o Descripción:	Aislamiento XLPE, Cubierta Z1
o Sección:	Indicada en presupuesto
o Tensión nominal:	0,6/1 kV
o Ensayo de tensión en c.a. durante 5 minutos:	3500 V
o Conductor:	Cobre electrolítico recocido
o Flexibilidad:	Clase 5 según UNE EN 60228
o Norma constructiva:	Según UNE 21123-4.
o Tipo de aislamiento:	Polietileno reticulado (XLPE)
o Color del aislamiento:	Gris, marrón, negro, amarillo-verde, azul
o Tipo de cubierta:	Mezcla especial cero halógenos
o Color cubierta exterior:	Verde con franja de color identificativa
o Temperatura de servicio (instalación fija):	-40°C, +90°C
o Temperatura máxima de servicio:	+90°C
o Temperatura máxima de cortocircuito:	+250°C
o No propagación de la llama:	Sí según UNE EN 60332-1-2
o No propagación del incendio:	Sí según UNE EN 50266-2-4
o Baja emisión de humos opacos:	UNE EN 61034-2
o Libre de halógenos:	UNE EN 50267-2-1

OBRA: IMPLANTACIÓN DE ILUMINACIÓN LED EN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN	
EQUIPO: BANDEJA PVC	Nº DE ORDEN: E.T.G. EE003
SERVICIO: DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	FECHA: NOVIEMBRE 2016

Hoja 1 de 3

Características PVC rígido de bandejas y tapas

- o Reacción al fuego:
 - Clasificación M1 (no inflamable), según norma UNE 23.727-90.
 - Clasificación M1, q = 0 según Decreto Ministerial francés del 28/08/1991.
- o Comportamiento al fuego (reacción al fuego, opacidad y toxicidad de humos): las bandejas y cubiertas poseerán una clasificación II F4, según norma NF F 16.101, 1988.
- o L.O.I. Índice de oxígeno: > 52, según norma NF T 51-071, 1985.
- o Rigidez dieléctrica: > 240 KV/cm, según norma UNE 21.316-74.
- o Comportamiento frente a agentes químicos: según las indicaciones de la norma DIN-8061.

Características del sistema de bandejas

- o Temperatura de servicio: De -20° C a +60° C
- o Conformidad con el Reglamento Electrotécnico de B.T. Para bandejas con tapa incorporada con la ayuda de un útil.
- o Protección contra la penetración de cuerpos sólidos:
Grado IP-2XX para bandejas perforadas con tapa incorporada. Grado IP 4XX para bandejas lisas con tapa incorporada. Según norma UNE 20.324-93.
- o Ensayo de hilo incandescente: Grado de severidad de 960° C, según el ensayo de la norma UNE 20.672-83.

Características de construcción

- o Bandeja y tapas: de paredes macizas y poseerán, como mínimo, los espesores y pesos siguientes:

OBRA: IMPLANTACIÓN DE ILUMINACIÓN LED EN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN	
EQUIPO: TUBO RÍGIDO PVC	Nº DE ORDEN: E.T.G. EE004
SERVICIO: INSTALACION EN SUPERFICIE	FECHA: NOVIEMBRE 2016

Hoja 1 de 1

Características

Fabricante:	ODI BAKAR, modelo TUBO RIGIDO o similar
Material:	PVC.
Norma:	UNE EN 61386-1 UNE EN 61386-2-2 UNE EN 60.423
Código clasificación:	432112
Resistencia a la compresión:	1.250 N.
Resistencia al impacto:	2 Julios a -5°
Resistencia al choque:	Grado de protección 7 UNE 20324
Temperatura de trabajo:	-5°C hasta 60° C
Propiedades eléctricas:	Aislante, No propagador de la llama.
Rigidez dieléctrica:	2000 v. - 50Hz
Aplicaciones:	Tubo liso para protección de cables en la industria, naves industriales y canalizaciones superficiales ordinarias y fijas.
Accesorios:	Curvas, manguitos, tes, codos, curvas flexibles, Muelles y Racores.

OBRA: IMPLANTACIÓN DE ILUMINACIÓN LED EN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN	
EQUIPO: CUADRO ELÉCTRICO ALUMBRADO	Nº DE ORDEN: E.T.G. EE005
SERVICIO: ALUMBRADO	FECHA: NOVIEMBRE 2016

Hoja 1 de 2

Características

- | | |
|---------------------------------|---|
| o Fabricante/modelo envolvente: | SCHNEIDER Prisma Plus sistema G, Himel o equivalente. |
| o Tipo: | Cofret |
| o Dimensiones exteriores: | Según presupuesto |
| o Material del armario: | Chapa de acero |
| o Material puerta: | Chapa de acero de 2mm |
| o Grado de protección: | IP55, IK10 |
| o Normas de cumplimiento: | IEC 60439-1, UNE EN 60439-1 |

Datos Técnicos

- | | |
|----------------------------------|----------------------------|
| o Tensión máxima: | 690V |
| o Tensión de aislamiento: | 1000 V (Aparamenta a 690V) |
| o Tensión de servicio: | 400/230Vca |
| o Intensidad nominal: | indicada en presupuesto |
| o Corriente de cresta admisible: | 16kA |
| o Embarrados: | 3F+N+T |
| o Frecuencia: | 50Hz |
| o Ejecución: | Fija |
| o Instalación: | Interior |
| o Pintado exterior: | RAL 9001 |

Datos constructivos

- | | |
|--|--|
| o Estructura: | Tubular rectangular chapa de acero de 2x2mm.
Equivalente a 4mm. |
| o Puertas y cubiertas exteriores: | Chapa de acero de 2mm. |
| o Cubiertas y separaciones interiores: | Chapa de acero galvanizado sin pintar de 1,5-2mm. |
| o Entrada de cables: | Según ejecución |

OBRA: IMPLANTACIÓN DE ILUMINACIÓN LED EN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN	
EQUIPO: CUADRO ELÉCTRICO ALUMBRADO	Nº DE ORDEN: E.T.G. EE005
SERVICIO: ALUMBRADO	FECHA: NOVIEMBRE 2016

Hoja 2 de 2

- | | |
|------------------------|--|
| o Salida de Cables: | Según ejecución |
| o Cables de potencia: | Mínimo 2,5 mm ² de 0.6/1kV. |
| o Cables de control: | 1,5 mm ² de 750V. |
| o Señalizado de fases: | Colores: R: negro, S: gris,
T: marrón, N: azul, Tierra:
verde-amarillo |

Envolvente

Cofret de chapa de acero de color blanco estanco, con tratamiento por cataforesis más polvo de epoxy poliéster polimerizado en caliente. Con grado de protección IP55, IK10, obtenido con puerta plena. Cada aparato o conjunto de aparatos se montará sobre una placa soporte o un perfil que sirva de soporte de fijación a quien corresponderá una tapa perforada que irá montada sobre el frontal del cofret y que protegerá contra los contactos directos con las partes en tensión. El montaje se realizará conforme a la norma UNE-EN 60.439.1.

Drivers

Incluye drivers de corriente constante y tensión variable de las siguientes características: IN AC: 230 V; OUT DC: 200-400 V; Máxima potencia: Intermedio A 500 W, Superior B 1000 W; Señal Control: DALI.

OBRA: IMPLANTACIÓN DE ILUMINACIÓN LED EN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN	
EQUIPO: INTERRUPTOR DE SUPERFICIE ESTANCO	Nº DE ORDEN: E.T.G. EE006
SERVICIO: ALUMBRADO INTERIOR	FECHA: NOVIEMBRE 2016

Hoja 1 de 1

Características

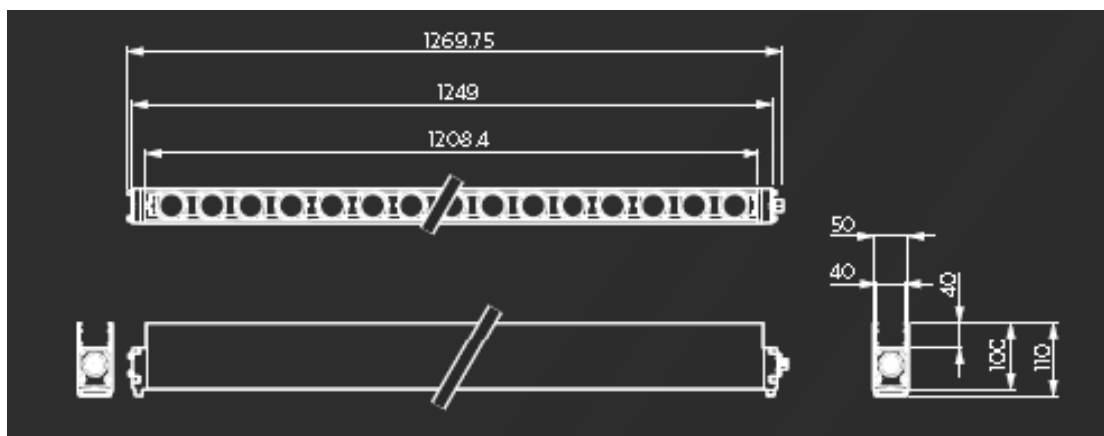
- o Marca: Legrand, Gewiss o similar
- o Tipo: interruptor adosable superficie
- o Mecanismo de 16 A. 230 V.
- o Caja estanca de superficie con entrada para Pg 13 de 90 x 60 mm
- o Contactos de plata.
- o Zócalo para un elemento.

OBRA: IMPLANTACIÓN DE ILUMINACIÓN LED EN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN	
EQUIPO: LUMINARIA SUPERIOR TOPLIGHTING	Nº DE ORDEN: E.T.G. EE007
SERVICIO: ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIA	FECHA: NOVIEMBRE 2016

Hoja 1 de 1

Características

- o Marca: Philips, Hortilux Schröder o similar
- o Modelo: GreenPower LED toplighting mod. DR/B LB 400V
- o Voltaje entrada: 200 – 400V
- o Factor de potencia: $\cos \phi$ 0.95
- o Flujo de fotones: 520 $\mu\text{mol/s}$
- o Protección: IP-66 Clase 1
- o Lámpara: LED RB
- o Combinación de color: Deep red/blue (50%DR/50%B)
- o Potencia: 1 x 190 W.
- o Dimensiones aproximadas: 1269.75 x 110 x 50 mm. (largo, alto, ancho)
- o Regulación normativa: IEC 60598
- o Tiempo de vida estimado: 25.000horas (al menos el 90% de flujo de fotones, 25 °C)



OBRA: IMPLANTACIÓN DE ILUMINACIÓN LED EN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN	
EQUIPO: LUMINARIA INTERNA INTERLIGHTING	Nº DE ORDEN: E.T.G. EE008
SERVICIO: ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIA	FECHA: NOVIEMBRE 2016

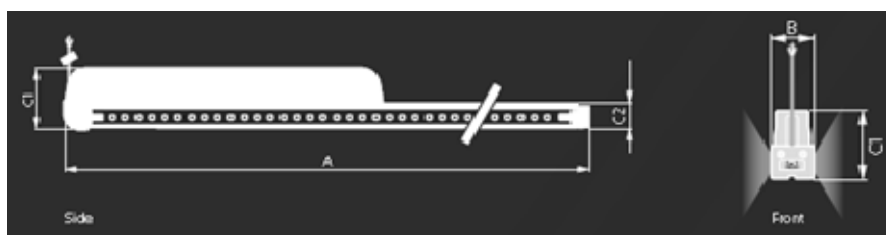
Hoja 1 de 2

Características

- o Marca: Philips, Hortilux Schröder o similar
- o Modelo: GreenPower LED interlighting module DR/B
- o Voltaje entrada: 200 – 400V
- o Factor de potencia: $\cos \varphi$ 0.95
- o Flujo de fotones: 220 $\mu\text{mol/s}$ x 2 (uno a cada lado de la luminaria)
- o Protección: IP-66 Clase 1
- o Lámpara: LED RB
- o Combinación de color: Deep red/blue (80%DR/20%B)
- o Potencia: 1 x 105 W.
- o Dimensiones aproximadas: 2491 x 76 x 41 mm. (largo, alto, ancho)
- o Regulación normativa: IEC 60598
- o Tiempo de vida estimado: 25.000horas (al menos el 90% de flujo de fotones, 25 °C)

OBRA: IMPLANTACIÓN DE ILUMINACIÓN LED EN INVERNADERO DE INVESTIGACIÓN	
EQUIPO: LUMINARIA INTERNA INTERLIGHTING	Nº DE ORDEN: E.T.G. EE008
SERVICIO: ILUMINACIÓN SUPLEMENTARIA	FECHA: NOVIEMBRE 2016

Hoja 2 de 2



DOCUMENTO Nº 4.- PRESUPUESTOS

DOCUMENTO N° 4.- PRESUPUESTOS

INDICE

Mediciones

Cuadro de precios

Presupuestos parciales

Presupuestos generales

MEDICIONES

1. EQUIPOS ELÉCTRICOS E ILUMINACIÓN LED

1.1 Cuadros eléctricos

- 83220151 Cuadro eléctrico general de servicios y alumbrado denominado CE ALUMBRADO 400Vac, IP55, In=125A, Icc=15kA, en ejecución superficie adosable a pared. Incluyendo la siguiente aparta: Envoltura IP55, alto 850 mm, ancho 555mm, profundidad 186mm y parte proporcional de piezas de montaje, carriles, repartidores, etc. Montaje y protecciones según esquema unifilar. Fabricante: SCHNEIDER ELECTRIC. Ubicación: sala de control. Según ETG EE 005Ud. totalmente montada, instalada y ensamblada.

1,00 Ud

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
Cuadro general	1,00				1,00
				Total ...	1,00

- 83310161 Cuadro de alumbrado local para cada uno de las cabinas del invernadero 400Vac 50A 10kA IP55 en instalación superficie compuesta por:-Envoltura Cofre de distribución eléctrica metálica IP55. -Interruptores automáticos magnetotérmicos e Interruptores diferenciales; Ubicación: cabinas del invernadero.Ud. montada, instalada y colocada. Según E.T.G. EE 005

4,00 Ud

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
Cuadros en cabinas	4,00				4,00
				Total ...	4,00

1.2 Líneas de fuerza y control

1.2.1 Acometida a Cuadros Eléctricos

- 84110050 Cable de cobre RV 0,6/1 Kv de 4 x 50 mm² de sección. Aislamiento polietileno reticulado (XLPE). Cubierta: PVC. De características de acuerdo a E.T.G. EE 001.

15,00 ml

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
alimentación a cuadro general	1,00	15,00			15,00
				Total ...	15,00

- 8421406 Cable de cobre tipo RV-K 0,6/1 KV clase 5 de 4 x 6 mm² de sección de características de acuerdo a E.T.G. EE 001. Totalmente instalado y probado.

60,00 MI

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
alimentación cuadro local cabina 1	1,00	15,00			15,00
alimentación cuadro local cabina 2	1,00	15,00			15,00
alimentación cuadro local cabina 3	1,00	15,00			15,00
alimentación cuadro local cabina 4	1,00	15,00			15,00
				Total ...	60,00

1.2.2 Cableado de fuerza y control desde CCM's

84253025 Cable de cobre tipo RZ1-K 0,6/1 KV clase 5 de 3 x 2,5 mm² de sección. Según ETG EE 002

680,00 MI

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
CUADRO LOCAL CABINA 1					
Circuitos alumbrado superior	7,00	10,00			70,00
Circuito alumbrado intermedio fila 1	5,00	10,00			50,00
Circuito alumbrado intermedio fila 2	5,00	10,00			50,00
CUADRO LOCAL CABINA 2					
Circuitos alumbrado superior	7,00	10,00			70,00
Circuito alumbrado intermedio fila 1	5,00	10,00			50,00
Circuito alumbrado intermedio fila 2	5,00	10,00			50,00
CUADRO LOCAL CABINA 3					
Circuitos alumbrado superior	7,00	10,00			70,00
Circuito alumbrado intermedio fila 1	5,00	10,00			50,00
Circuito alumbrado intermedio fila 2	5,00	10,00			50,00
CUADRO LOCAL CABINA 4					
Circuitos alumbrado superior	7,00	10,00			70,00
Circuito alumbrado intermedio fila 1	5,00	10,00			50,00
Circuito alumbrado intermedio fila 2	5,00	10,00			50,00
Total ...					680,00

1.2.3 Conductos y auxiliares

85201060 Bandeja de PVC-M1 serie 66. marca UNEX o similar, de color gris RAL 7030, perforada, de 60X100 mm, con 1 separador y con tapa, con parte proporcional de accesorios, elementos de acabado y soportes y montada sobre soportes horizontales. Características según ETG EE 003.

35,00 Ud

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
	35,00				
Total ...					35,00

85000020 Tubo de PVC rígido Ø 20 mm, características de acuerdo a ETG EE 004. Instalado en montaje superficial.

300,00 MI

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
	300,00				300,00
Total ...					300,00

85000040 Tubo de PVC rígido Ø 40 mm, características de acuerdo a ETG EE 004. Instalado en montaje superficial.

176,00 MI

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
	176,00				176,00
Total ...					176,00

8530075 Caja aislante de derivación, autoextinguible en ABS, IP 55. Tipo 15/10. Conos Máx. 10x25mm.

48,00 Ud

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
	48,00				48,00
				Total ...	48,00

1.3 Alumbrado y mecanismos

87110520 Luminaria para instalación en el superior de las plantas, marca Philips, Hortilux o similar, modelo GreenPower LED toplighting module DR/B. Luminaria suspendida, estanca IP66. Sistema de lámpara LED de alto rendimiento, color deep red/blue. Flujo de fotones 520umol/s. Según ETG EE007

112,00 Ud

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
cabina 1	28,00				28,00
cabina 2	28,00				28,00
cabina 3	28,00				28,00
cabina 4	28,00				28,00
				Total ...	112,00

87110220 Luminaria para instalación en el interior de las plantas, marca Philips o similar, modelo GreenPower LED interlighting module DR/B. Luminaria suspendida, estanca IP66. Sistema de lámpara LED de alto rendimiento, color deep red/blue. Flujo de fotones 220umol/s(x2). Según ETG EE008

160,00 Ud

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
cabina 1	20,00			2,00	40,00
cabina 2	20,00			2,00	40,00
cabina 3	20,00			2,00	40,00
cabina 4	20,00			2,00	40,00
				Total ...	160,00

87610001 Interruptor para iluminación de montaje en superficie, de tipo simple. -Marca: Legrand, Simon o similar. Montaje: superficial. Corriente: 10A. Grado de protección: IP55. Según E.T.G. EE006.

48,00 Ud.

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
cabina 1	12,00				12,00
cabina 2	12,00				12,00
cabina 3	12,00				12,00
cabina 4	12,00				12,00
				Total ...	48,00

1.4 Control e Instrumentación

- 88000001 Tarjeta de comunicación protocolo DALI para comunicación del PLC con instalaciones de control de iluminación. Lista para insertar en bastidor de PLC. Permite controlar hasta 80 drivers electrónicos.

1,00 Ud

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
Cuadro	1,00				1,00
Total ...					1,00

- 88000002 Cable de comunicación para protocolo DALI 5x1,5mm² Cu con pantalla de protección contra ruido electromagnético

35,00 Ml.

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
cabina 1	5,00				5,00
cabina 2	7,50				7,50
cabina 3	10,00				10,00
cabina 4	12,50				12,50
Total ...					35,00

- 88000003 Sensor lumínico para medir la intensidad de luz que llega al sensor. Sensible a todas las longitudes de onda. Incluye transceptor para generar una señal eléctrica proporcional a la intensidad recibida. Incluye parte proporcional de cableado para conectar hasta entrada analógica del autómata.

4,00 Ud.

Descripción	Unidades	Largo	Ancho	Alto	Parcial
cabina 1	1,00				1,00
cabina 2	1,00				1,00
cabina 3	1,00				1,00
cabina 4	1,00				1,00
Total ...					4,00

2. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

- SEG Partida para equipos y medidas de Seguridad y Salud, de acuerdo al Estudio Básico de Seguridad y Salud de este proyecto.

1,00 Ud

3. VARIOS

- IMP Partida para imprevistos y resolución de afecciones a las instalaciones existentes

1,00 Ud

CUADRO DE PRECIOS

Código	UM	Descripción	Importe en letras	Importe en cifras
83220151	Ud	Cuadro eléctrico general de servicios y alumbrado denominado CE ALUMBRADO 400Vac, IP55, In=125A, Icc=15kA, en ejecución superficie adosable a pared. Incluyendo la siguiente apartament: Envoltente IP55, alto 850 mm, ancho 555mm, profundidad 186mm y parte proporcional de piezas de montaje, carriles, repartidores, etc. Montaje y protecciones según esquema unifilar.Fabricante: SCHNEIDER ELECTRIC. Ubicación: sala de control. Según ETG EE 005Ud. totalmente montada, instalada y ensamblada.	Dos mil seiscientos dieciséis euros con setenta y nueve cents.	2.616,79
83310161	Ud	Cuadro de alumbrado local para cada uno de las cabinas del invernadero 400Vac 50A 10kA IP55 en instalación superficie compuesta por:-Envoltente Cofret de distribución eléctrica metalico IP55. - Interruptores automáticos magnetotérmicos e Interruptores diferenciales; Ubicación: cabinas del invernadero.Ud. montada, instalada y colocada. Según E.T.G. EE 005	Mil doscientos dos euros.	1.202,00
84110050	ml	Cable de cobre RV 0,6/1 Kv de 4 x 50 mm ² de sección. Aislamiento polietileno reticulado (XLPE). Cubierta: PVC. De características de acuerdo a E.T.G. EE 001.	Treinta y cinco euros con veinte cents.	35,20
8421406	MI	Cable de cobre tipo RV-K 0,6/1 KV clase 5 de 4 x 6 mm ² de sección de características de acuerdo a E.T.G. EE 001. Totalmente instalado y probado.	Tres euros con cincuenta y seis cents.	3,56
84253025	MI	Cable de cobre tipo RZ1-K 0,6/1 KV clase 5 de 3 x 2,5 mm ² de sección. Según ETG EE 002	Un euro con setenta y siete cents.	1,77
85000020	MI	Tubo de PVC rígido Ø 20 mm, características de acuerdo a ETG EE 004. Instalado en montaje superficial.	Dos euros con veintiún cents.	2,21
85000040	MI	Tubo de PVC rígido Ø 40 mm, características de acuerdo a ETG EE 004. Instalado en montaje superficial.	Cinco euros con setenta y cinco cents.	5,75
85201060	Ud	Bandeja de PVC-M1 serie 66. marca UNEX o similar, de color gris RAL 7030, perforada, de 60X100 mm, con 1 separador y con tapa, con parte proporcional de accesorios, elementos de acabado y soportes y montada sobre soportes horizontales. Características según ETG EE 003.	Catorce euros con cincuenta y un cents.	14,51
8530075	Ud	Caja aislante de derivación, autoextinguible en ABS, IP 55. Tipo 15/10. Conos Máx. 10x25mm.	Nueve euros con cinco cents.	9,05
87110220	Ud	Luminaria para instalación en el interior de las plantas, marca Philips o similar, modelo GreenPower LED interlighting module DR/B. Luminaria suspendida, estanca IP66. Sistema de lámpara LED de alto rendimiento, color deep red/blue. Flujo de fotones 220umol/s(x2). Según ETG EE008	Ciento noventa euros.	190,00

Código	UM	Descripción	Importe en letras	Importe en cifras
87110520	Ud	Luminaria para instalación en el superior de las plantas, marca Philips, Hortilux o similar, modelo GreenPower LED toplighting module DR/B. Luminaria suspendida, estanca IP66. Sistema de lámpara LED de alto rendimiento, color deep red/blue. Flujo de fotones 520umol/s. Según ETG EE007	Doscientos setenta euros.	270,00
87610001	Ud.	Interruptor para iluminación de montaje en superficie, de tipo simple. -Marca: Legrand, Simon o similar. Montaje: superficial. Corriente: 10A. Grado de protección: IP55. Según E.T.G. EE006.	Siete euros con setenta cents.	7,70
88000001	Ud	Tarjeta de comunicación protocolo DALI para comunicación del PLC con instalaciones de control de iluminación. Lista para insertar en bastidor de PLC. Permite controlar hasta 80 drivers electrónicos.	Trescientos euros	300,00
88000002	ML	Cable de comunicación para protocolo DALI 5x1,5mm ² Cu con pantalla de protección contra ruido electromagnético	Cincuenta cents	0,50
88000003	Ud.	Sensor lumínico para medir la intensidad de luz que llega al sensor. Sensible a todas las longitudes de onda. Incluye transceptor para generar una señal eléctrica proporcional a la intensidad recibida. Incluye parte proporcional de cableado para conectar hasta entrada analógica del autómatas.	Quinientos veinticinco euros	525,00
SEG	Ud.	Partida para equipos y medidas de Seguridad y Salud, de acuerdo al Estudio Básico de Seguridad y Salud de este proyecto.	Seiscientos cincuenta euros	650,00
IMP	Ud.	Partida para imprevistos y resolución de afecciones a las instalaciones existentes	Tres mil seiscientos ochenta y dos euros con treinta y cuatro cents	3.682,34

Madrid, Noviembre de 2016

El Autor del Proyecto
Fdo.: Emilio Villar Alegría

PRESUPUESTOS PARCIALES

1. EQUIPOS ELÉCTRICOS E ILUMINACIÓN LED

1.1. Cuadros eléctricos

Código	Medición	UM	Unidad de Obra	Precio	Importe
83220151	1,00	Ud	Cuadro eléctrico general de servicios y alumbrado denominado CE ALUMBRADO 400Vac, IP55, In=125A, Icc=15kA, en ejecución superficie adosable a pared. Incluyendo la siguiente aparamenta: Envoltente IP55, alto 850 mm, ancho 555mm, profundidad 186mm y parte proporcional de piezas de montaje, carriles, repartidores, etc. Montaje y protecciones según esquema unifilar.Fabricante: SCHNEIDER ELECTRIC. Ubicación: sala de control. Según ETG EE 005Ud. totalmente montada, instalada y ensamblada.	2.616,79	2.616,79
83310161	4,00	Ud	Cuadro de alumbrado local para cada uno de las cabinas del invernadero 400Vac 50A 10kA IP55 en instalación superficie compuesta por:-Envoltente Cofret de distribución eléctrica metálico IP55. -Interruptores automáticos magnetotérmicos e Interruptores diferenciales; y drivers de corriente constante y de potencia adecuada (500W o 1000); Ubicación: cabinas del invernadero.Ud. montada, instalada y colocada. Según E.T.G. EE 005	1.202,00	4.808,00
Total Cap.					7.424,79

1.2. Líneas de fuerza y control

1.2.1 Acometida a Cuadros Eléctricos

Código	Medición	UM	Unidad de Obra	Precio	Importe
84110050	15,00	ml	Cable de cobre RV 0,6/1 Kv de 4 x 50 mm ² de sección. Aislamiento polietileno reticulado (XLPE). Cubierta: PVC. De características de acuerdo a E.T.G. EE 001.	35,20	528,00
8421406	60,00	MI	Cable de cobre tipo RV-K 0,6/1 KV clase 5 de 4 x 6 mm ² de sección de características de acuerdo a E.T.G. EE 001. Totalmente instalado y probado.	3,56	213,60
Total Cap.					741,60

1.2.2 Cableado de fuerza y control desde CCM's

Código	Medición	UM	Unidad de Obra	Precio	Importe
84253025	680,00	MI	Cable de cobre tipo RZ1-K 0,6/1 KV clase 5 de 3 x 2,5 mm ² de sección. Según ETG EE 002	1,77	1.203,60
Total Cap.					1.203,60

1.2.3 Conductos y auxiliares

Código	Medición	UM	Unidad de Obra	Precio	Importe
85201060	35,00	Ud	Bandeja de PVC-M1 serie 66. marca UNEX o similar, de color gris RAL 7030, perforada, de 60X100 mm, con 1 separador y con tapa, con parte proporcional de accesorios, elementos de acabado y soportes y montada sobre soportes horizontales. Características según ETG EE 003.	14,51	507,85
85000020	300,00	MI	Tubo de PVC rígido Ø 20 mm, características de acuerdo a ETG EE 004. Instalado en montaje superficial.	2,21	663,00
85000040	176,00	MI	Tubo de PVC rígido Ø 40 mm, características de acuerdo a ETG EE 004. Instalado en montaje superficial.	5,75	1.012,00
8530075	48,00	Ud	Caja aislante de derivación, autoextinguible en ABS, IP 55. Tipo 15/10. Conos Máx. 10x25mm.	9,05	434,40
				Total Cap.	2.617,25

1.3 Alumbrado y mecanismos

Código	Medición	UM	Unidad de Obra	Precio	Importe
87110520	112,00	Ud	Luminaria para instalación en el superior de las plantas, marca Philips, Hortilux o similar, modelo GreenPower LED toplighting module DR/B. Luminaria suspendida, estanca IP66. Sistema de lámpara LED de alto rendimiento, color deep red/blue. Flujo de fotones 520umol/s. Según ETG EE007	270,00	30.240,00
87110220	160,00	Ud	Luminaria para instalación en el interior de las plantas, marca Philips o similar, modelo GreenPower LED interlighting module DR/B. Luminaria suspendida, estanca IP66. Sistema de lámpara LED de alto rendimiento, color deep red/blue. Flujo de fotones 220umol/s(x2). Según ETG EE008	190,00	30.400,00
87610001	48,00	Ud.	Interruptor para iluminación de montaje en superficie, de tipo simple. -Marca: Legrand, Simon o similar. Montaje: superficial. Corriente: 10A. Grado de protección: IP55. Según E.T.G. EE006.	7,70	369,60
				Total Cap.	61.009,60

1.4 Control e Instrumentación

Código	Medición	UM	Unidad de Obra	Precio	Importe
88000001	1,00	Ud	Tarjeta de comunicación protocolo DALI para comunicación del PLC con instalaciones de control de iluminación. Lista para insertar en bastidor de PLC. Permite controlar hasta 80 drivers electrónicos.	300,00	300,00
88000002	35,00	ML	Cable de comunicación para protocolo DALI 5x1,5mm2 Cu con pantalla de protección contra ruido electromagnético	0,50	17,50

88000003	4,00	Ud	Sensor lumínico para medir la intensidad de luz que llega al sensor. Sensible a todas las longitudes de onda. Incluye transceptor para generar una señal eléctrica proporcional a la intensidad recibida. Incluye parte proporcional de cableado para conectar hasta entrada analógica del autómeta.	525,00	2.100,00
----------	------	----	--	--------	----------

Total Cap. 2.417,50

2. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

SEG	1,00	Ud.	Partida para equipos y medidas de Seguridad y Salud, de acuerdo al Estudio Básico de Seguridad y Salud de este proyecto.	650,00	650,00
-----	------	-----	--	--------	--------

Total Cap. 650,00

3. VARIOS

IMP	1,00	Ud.	Partida para imprevistos y resolución de afecciones a las instalaciones existentes	1,00	3.682,34
-----	------	-----	--	------	----------

Total Cap. 3.682,34

PRESUPUESTOS GENERALES

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

Código	Título	Importe
1	<u>EQUIPOS ELÉCTRICOS E ILUMINACIÓN LED</u>	75.414,34
1.1	Cuadros eléctricos	7.424,79
1.2	Líneas de fuerza y control	4.562,45
1.2.1	<u>Acometida a Cuadros Eléctricos</u>	741,60
1.2.2	<u>Cableado de fuerza y control desde CCM's</u>	1.203,60
1.2.3	<u>Conductos y auxiliares</u>	2.617,25
1.3	Alumbrado y mecanismos	61.009,60
1.4	Control e Instrumenatción	2.417,50
2.	<u>ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD</u>	650,00
3.	<u>VARIOS</u>	3.682,34
	TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	79.746,68

PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN

EJECUCIÓN MATERIAL	79.746,68
- Gastos generales (13%)	10.367,07
- Beneficio industrial (6%)	4.784,80
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	94.898,55
- IVA (21%)	19.928,70
IMPORTE TOTAL	114.827,24

Asciende el presente Presupuesto Base de Licitación a la cantidad de: **NOVENTA Y CUATRO MIL OCHOCIENTOS NOVENTA Y OCHO EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS (94.898,55.-€)**

Madrid, Noviembre de 2016

El Autor del Proyecto
Fdo.: Emilio Villar Alegría